

LE

CIEL GÉOLOGIQUE

PRODROME DE GÉOLOGIE COMPARÉE

PAR

STANISLAS MEUNIER

AIDE NATURALISTE DE GÉOLOGIE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE
DOCTEUR ÈS-SCIENCES, ETC.



PARIS

LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES, FILS ET Cie

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, 56

1871

LE

CIEL GÉOLOGIQUE

DU MÊME AUTEUR

Pour paraître prochainement

TRAITÉ DES MÉTÉORITES

1 fort vol. in-8° avec gravures

Typographie Firmin Didot. — Mesnil (Eure).

LE

CIEL GÉOLOGIQUE

PRODROME

DE GÉOLOGIE COMPARÉE

PAR

STANISLAS MEUNIER

AIDE-NATURALISTE DE GÉOLOGIE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE
DOCTEUR ÈS-SCIENCES, ETC.





PARIS

LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES, FILS ET C[ie]

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, 56

1871

A MON PÈRE

M. VICTOR MEUNIER

Mon premier Maître et mon meilleur Ami.

STANISLAS MEUNIER.

AVANT-PROPOS.

Les matières qui forment le sujet de ce livre m'occupent depuis plusieurs années. Dès 1867, en publiant un volume relatif aux météorites [1], j'annonçais un *Prodrome de Géologie comparée.*

Toutefois, mes recherches de laboratoire et les modifications qu'à diverses reprises leurs résultats apportèrent à l'économie de cet ouvrage firent que je ne me trouvai que dans le cours de 1870 en mesure de lui donner la forme sous laquelle je le présente aujourd'hui au public. Mais à cette époque les circonstances politiques rendaient impossible toute publication du genre de celle-ci.

Aussi lorsque M. le ministre de l'instruction pu-

[1] *Étude descriptive théorique et expérimentale sur les météorites*, vol. in-8°.

blique eut décidé que, nonobstant l'investissement de Paris, les établissements d'instruction supérieure reprendraient leur enseignement, la pensée me vint-elle aussitôt d'adapter le sujet de ce livre à la forme d'un cours, et le 18 octobre 1870 j'adressai simultanément au ministre et à MM. les professeurs du Muséum la demande en autorisation de donner quelques leçons dans l'amphithéâtre de géologie de cet établissement, et de me servir de la collection de météorites, sans laquelle mon enseignement eût été privé de son principal moyen de démonstration.

« La réouverture des classes, des cours et des conférences, disais-je dans ma lettre à M. Jules Simon, est sans contredit un des plus nobles et des plus fiers aspects du spectacle que Paris donne au monde. La barbarie savante qui nous assiége, en réduisant au minimum notre existence matérielle, n'a pu mettre obstacle à l'exercice régulier de notre existence intellectuelle, et les anxieuses préoccupations du présent le plus tragique n'auront point entravé la calme préparation de l'avenir.

« Ce grand résultat est en partie votre œuvre, Monsieur le Ministre, et comme nul ne peut douter que votre sympathie ne soit acquise à toute mesure ayant pour but d'élargir les cadres de l'enseignement officiel et de faciliter à la jeunesse studieuse l'accès

de la carrière professorale, je viens avec confiance demander à l'homme éminent qui préside aujourd'hui aux destinées de l'instruction publique l'autorisation d'ouvrir, au milieu de Paris investi, et dans le Muséum d'histoire naturelle auquel j'appartiens, un cours consacré à l'enseignement de la science pure, d'une science nouvelle, la *Géologie comparée.* »

Le ministre se montra disposé à accueillir ma requête, et MM. les professeurs admirent en principe l'idée d'introduire l'enseignement libre au Muséum. Toutefois, le moment parut défavorable pour réaliser cette innovation, et ma demande fut ajournée.

Il ne me restait qu'une manière de contribuer à l'avancement de la science nouvelle. C'était, dans le temps dont le service du rempart me laissait maître, de me consacrer exclusivement aux travaux de laboratoire.

J'adressai successivement à l'Académie des sciences plusieurs notes et mémoires [1] qui ont reçu de

[1] 24 octobre 1870 : *Des rapports de l'astronomie physique avec la géologie.* Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. LXXI, p. 540. — 31 octobre : *Communauté d'origine de la serpentine et de la chantonnite,* id., p. 590. — 21 novembre : *Stratigraphie de diverses roches météoritiques;* id., p. 743. — 28 novembre : *De l'existence de roches éruptives et de roches métamorphiques parmi les météorites;* id., p. 771. — 26 décembre : *Sur le mode de solidification du globe terrestre;* id., p. 956. — 23 janvier 1871 : *Structure du globe d'où dérivent les météorites;* id., t. LXXII, p. 111. — 30 janvier : *Sur le mode de rupture du globe d'où dérivent les météorites;* id., p. 125. — 20 février : *Situation astronomique*

l'illustre compagnie un accueil dont je suis à la fois grandement fier et profondément reconnaissant. J'ai eu particulièrement l'occasion d'éprouver la bienveillance extrême des deux hommes célèbres qui remplissent auprès de ce grand corps savant les délicates fonctions de Secrétaires perpétuels. Qu'il me soit permis de leur adresser publiquement le juste tribut de mes remerciements.

Pour qu'on sache jusqu'où peut aller la bienveillance d'un esprit supérieur, je n'ai qu'à faire connaître le passage suivant d'une lettre que M. Dumas voulait bien m'écrire à la date du 3 février 1871. Après m'avoir proposé une légère modification à une note qu'allaient publier les *Comptes rendus*, l'éminent académicien ajoutait :

« Veuillez surtout, Monsieur, voir dans ma proposition une preuve du sérieux et profond intérêt que m'inspirent vos importantes études. Elles éclairent d'un jour tout nouveau des questions demeurées

du globe d'où dérivent les météorites; id., p. 183. — 20 mars : *Étude chimique de la matière colorante noire de la tadjérite*; id., p. 339. — 10 avril : *Second exemple de métamorphisme parmi les météorites*; id., p. 452. — 24 avril : *Nouvelles expériences relatives au métamorphisme des météorites*; id., p. 508. — 1er mai : *Transformation de la serpentine en tadjérite; premier cas de reproduction d'une météorite au moyen d'une roche terrestre*; id., p. 541. — 31 juillet : *Étude lithologique de la météorite de Parnallee*; id., t. LXXIII, p. 346.

jusqu'ici dans le domaine de l'abstraction, et les ramènent à la forme concrète, qui seule leur assure une base solide.

« Vous n'avez pas besoin d'être encouragé, et cependant ceux qui entrevoient le but vers lequel chaque pas vous conduit s'estimeraient heureux s'il leur était permis de vous aider à l'atteindre. Veuillez me compter parmi eux, et croire que personne n'apprécie plus que moi la sûreté de votre méthode et la grandeur de vos conclusions acquises ou futures. »

Peut-être la reproduction d'une lettre aussi flatteuse m'expose-t-elle au reproche de manquer de modestie. Mais comment pourrais-je mieux témoigner ma reconnaissance qu'en montrant la grandeur des encouragements auxquels elle doit se mesurer? D'ailleurs, que, pouvant donner à ce livre l'appui d'une telle recommandation, je ne me sois pas résigné à l'en priver, c'est ce que tout le monde comprendra et c'est ce dont je ne crois pas avoir à m'excuser.

Mes publications sur la géologie comparée ont eu le bonheur d'exciter l'intérêt d'autres savants illustres, parmi lesquels je citerai M. Faye, M. Le Verrier, M. Damour, le si regrettable M. de Haidinger, de l'Académie de Vienne, avec lequel j'avais le bonheur d'entretenir une correspondance suivie, et enfin M. E. Fremy, toujours prêt à prodiguer, à qui a

besoin d'être éclairé ou soutenu, le concours de son savoir et de sa bonté. C'est par lui, je suis heureux de consigner ici ce souvenir, que m'a été ouverte la porte de ce Muséum d'histoire naturelle où j'ai trouvé le fécond sujet d'étude qui, presque encore vierge aujourd'hui, m'a fourni les matériaux du livre que je mets sous les yeux du lecteur.

L'insertion de treize notes ou mémoires dans les *Comptes rendus*, où la plupart figurent sous le titre général de géologie comparée, a conféré le droit de cité à cette branche nouvelle de la science. Je me rappelle qu'au mois d'octobre dernier, au moment où je venais d'adresser à l'Académie la première des notes susdites, un géologue célèbre, aussi distingué par le caractère que par le talent, me fit quelques objections quant à l'autonomie de la géologie comparée, rappelant qu'on a coutume de commencer tous les cours de géologie par un aperçu général de la terre considérée au point de vue astronomique. J'ose espérer que les scrupules de ce maître ont aujourd'hui disparu, et que son ferme esprit mesure la distance qui sépare les vagues et superficielles considérations cosmologiques auxquelles il faisait allusion, de la vaste étude qui fait le domaine de la géologie comparée.

Il ne serait guère possible en ce moment de faire de la science nouvelle le sujet d'un cours ou d'un

traité didactique; l'un et l'autre demanderaient aux auditeurs et aux lecteurs plus de calme qu'il n'y en a dans les esprits. C'est pourquoi, en attendant, j'ai cru indiqué de réunir les points saillants de la géologie comparée dans quelques pages de compréhension facile, et c'est dans cette pensée que j'ai rédigé ce simple *Prodrome*, dont la publication acquitte la promesse que j'ai faite en 1867.

Au Muséum d'histoire naturelle,
le 23 août 1871.

S. M.



CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

Quelle que soit la conception qu'à diverses époques l'homme se soit faite du globe qu'il habite, et qu'il y ait vu une patrie, ou l'exil, ou un lieu de passage, jamais cette terre, malgré son étendue et ses splendeurs, malgré la variété de ses spectacles et malgré ses mystères, n'a pu assouvir les besoins d'espérance religieuse ou de curiosité scientifique qui sont le propre de notre espèce.

Du jour où la faculté de connaître cessa d'être au service exclusif de l'animal qui est en nous, et sur lequel notre espèce semble greffée comme une essence divine sur une souche commune, l'homme jeta un regard interrogateur hors de sa résidence actuelle, et un instinct corrélatif de l'unité des choses le porta à réunir dans de mêmes données la terre et son milieu céleste. L'intuition lui avait ouvert ce domaine

extérieur, le raisonnement l'y maintint, la rêverie l'y égara : ce furent ses premiers introducteurs dans cet ordre de spéculations, et il semblait qu'ils dussent y être ses seuls guides. Comment supposer, en effet, que les méthodes et les procédés à l'aide desquels s'acquiert la connaissance de la terre, où nous avons la liberté d'aller et de venir puissent avoir prise sur un monde dont l'accès nous est interdit?

La science cependant y a pénétré; elle en a pris possession, elle l'a livré à une culture régulière, source ininterrompue de notions progressives qui déjà, au même titre que les notions relatives au seul globe terrestre, manifestent les trois caractères suivants :

Premier caractère : L'agrandissement continu du champ d'investigation et l'accumulation progressive des faits.

Qui ne sait que la terre, à qui l'ignorance primitive attribuait la position centrale de l'univers, n'est que l'un des satellites d'une des innombrables étoiles de la voie lactée, qui n'est elle-même qu'une de ces nébuleuses dont plusieurs milliers sont aujourd'hui cataloguées? Qui ne sait que les étoiles se comptent par centaines de mille; que depuis la fin du siècle précédent jusqu'au jour où nous sommes, le nombre des planètes s'est élevé

de sept à cent quinze; que les comètes, que les étoiles, que la lune à elle seule, constituent respectivement autant de branches distinctes de la science et comme autant d'astronomies spéciales?

Deuxième caractère : La complexité croissante des notions.

Longtemps les astres n'ont appartenu à la science que d'une manière abstraite, longtemps ils n'ont été tributaires que de la pure géométrie; la seule force qu'ils révélassent était celle qui demeure quand des diverses substances on retranche tout ce qui constitue leur variété. De nos jours l'astronomie physique est née. Aujourd'hui les planètes, le soleil, les comètes, les étoiles, les nébuleuses sont devenus au même titre, et avec autant de certitude, que les substances terrestres l'objet d'études chimiques. Enfin les météorologistes et les géologues trouvent hors de la terre des termes précis de comparaison.

Troisième caractère : L'unification de plus en plus intime des éléments de plus en plus variés de l'ensemble.

En même temps que le spectroscope nous montre parmi les membres de notre système, parmi les étoiles qui composent la voie lactée, et parmi les nébuleuses elles-mêmes des états physiques et

chimiques si divers, les liens de solidarité entre les parties de l'univers deviennent de plus en plus nombreux et de plus en plus étroits. C'est le soleil qui, par la multiple vertu de ses radiations, actionne tout l'appareil de la vie à la surface de la terre. Et l'échange entre les globes n'est point limité au dynamisme physique et chimique : deux grands phénomènes, celui des météorites et celui des étoiles filantes, le premier obstinément nié jusque dans les premières années de ce siècle, et le second resté mystérieux jusque dans ces derniers temps, nous ont appris que la terre s'accroît incessamment en poids et en volume de matières gazeuses et de matières solides, de minéraux et de roches venus du dehors.

Arrêtons-nous sur ce dernier fait.

Nous sommes aujourd'hui en mesure de constater l'état physique, ou en d'autres termes de constater le degré de développement d'un très-grand nombre d'astres; nous avons en outre les moyens de soumettre la matière qui les compose aux opérations de la chimie; de plus, les phénomènes météorologiques dont certains de ces astres sont le théâtre sont accessibles à nos observations; ce n'est pas tout : il est un globe à l'égard duquel nous avons acquis des

notions stratigraphiques et orographiques bien plus complètes que celles que nous possédons sur nombre de régions terrestres; enfin la possession d'échantillons minéralogiques et géologiques tombés sur la terre nous permet de soumettre la matière du ciel à une véritable étude lithologique; c'est-à-dire que, la paléontologie mise à part (les études sidérales ne se sont pas encore élevées jusque-là), il n'est pas une branche des études géologiques qui, dans une mesure quelconque, et sur un astre ou sur un autre, ne parvienne à s'accroître du côté du ciel et qui n'y trouve d'exacts termes de comparaison à mettre en regard des phénomènes que présente le globe. Et si par géologie on entend la science d'un globe pris dans la totalité de ses manifestations physiques et biologiques, on reconnaît que la géologie, loin d'être forcément bornée à l'étude d'un seul être, c'est-à-dire à l'étude de la terre, embrasse un nombre indéterminé d'êtres analogues, et que de descriptive qu'elle a été jusqu'à présent elle peut et doit devenir comparative.

C'est toujours un grand progrès quand une science subit cette transformation. Qu'on en juge par l'aggrandissement et l'ennoblissement qu'en a retirés l'anatomie. Les généralités ne s'établissent en effet que par comparaison, du moins n'est-ce que de la sorte

qu'elles trouvent une base solide; un fait, si complexe et si minutieusement étudié qu'il soit, ne se suffit pas à lui-même; je veux dire qu'il ne saurait fournir sa propre philosophie : Qu'y a-t-il de général et qu'y a-t-il de particulier en lui? C'est ce que la comparaison seule peut nous apprendre. Ajoutons que celle-ci acquiert un intérêt tout spécial quand elle porte sur des êtres vivants, c'est-à-dire sur des êtres qui se développent, parce que le rapprochement d'individus d'âges différents peut tenir lieu de l'observation suivie des états successifs d'un même individu. Enfin, il est évident que le passage de l'étude descriptive à l'étude comparative prend son maximum d'importance quand l'être vivant décrit est tel que son histoire ne peut se refaire sous les yeux de l'observateur, ce qui est le cas du globe terrestre. C'est alors, dis-je, que la comparaison montre toute sa fécondité, puisque l'étude du seul présent des membres divers d'un même groupe permet de reconstruire le passé de chacun d'eux et de lever le voile qui cache leur avenir, et puisque la combinaison de ces mêmes fragments d'histoire individuelle permet de reconstruire au complet l'histoire entière de l'espèce.

Il va d'ailleurs sans dire qu'en appliquant à la terre la qualification d'être vivant nous ne l'assi-

milons à aucun des êtres particuliers qu'elle renferme dans son vaste sein. Les astres ne sont ni des végétaux ni des animaux. Mais, étant donnée la distinction entre corps bruts et corps vivants, distinction aussi fondée qu'aucune autre, il est évident que la terre, une et diverse dans le temps et dans l'espace, en proie à un perpétuel travail intestin, théâtre de circulations et de transformations sans fin, qui reçoit sans cesse du dehors et qui lui rend; il est évident que la terre, composée d'un nombre infini de parties hétérogènes, ayant chacune leur rôle particulier et dans lesquelles l'analyse montre les éléments intégrants d'organes et d'appareils généraux, en même temps qu'elle ramène leurs activités spéciales à quelques fonctions générales par lesquelles se manifeste l'activité réglée de tout; il est évident que la terre, qui a une histoire, qui s'est développée, a eu ses phases, qui s'est diversifiée d'âge en âge par la rénovation de ses organismes; il est évident, dis-je, qu'un tel être échappe par tous ses caractères à la définition des corps bruts, que toutes ses analogies sont avec les corps vivants, qu'il a droit autant que pas un au titre de corps organisé. Il possède un plus grand nombre de caractères des êtres vivants et des caractères plus élevés que n'en a en propre tel être particulier, l'a-

mide par exemple, parmi les infusoires. Ce qui n'empêche pas que son mode d'existence ne soit fort différent de celui des animaux et des végétaux. Entre la vie du globe et celle des êtres particuliers qu'il renferme, peut-être les analogies et les différences sont-elles comparables à celles qui dans un de ces êtres existent entre celui-ci et les éléments figurés qu'il comprend, et qui, eux aussi, ont leur vie propre. Pas plus que celle de ces éléments, sa place n'est dans aucun des trois règnes de la nature. Mais il suffit que le globe ait en commun avec les végétaux et les animaux ce caractère d'être soumis à une loi de développement pour que tout ce qui vient d'être dit de la fécondité particulière des études comparatives en biologie soit rigoureusement applicable à la géologie.

Du reste, ce que ces considérations peuvent avoir de vague va se préciser par l'énumération de quelques-uns des services réciproques que peuvent se rendre l'histoire de la terre et l'histoire des autres astres, rapprochées l'une de l'autre et confrontées ensemble sur le terrain nouveau de la géologie comparée.

Ainsi, relativement à l'origine et au développement de notre planète, on a admis à la suite de La-

place une théorie célèbre. Mais l'étude isolée du globe terrestre permet-elle d'en contrôler la justesse? Non. Et si la terre n'a pas gardé de témoignages suffisants de son origine, est-il parmi ses caractères aucun fait qui, pris isolément, je veux dire au point de vue de la géologie descriptive, puisse faire prévoir son avenir? Pas davantage.

De même, quant à la structure du globe, nous sommes parvenus à esquisser une sorte d'anatomie de la pellicule superficielle de la croûte terrestre; mais de quelle importance est le peu que nous savons, comparé à ce que, sans doute, il nous reste à apprendre le long du rayon de 1,500 lieues qui nous sépare du centre! Déjà les roches éruptives indiquent au-dessous du revêtement granitique l'existence de masses minéralogiquement différentes, mais il est impossible d'admettre que ces masses remplissent tout l'espace central; la densité du globe (5.5), si supérieure à celle de toutes les roches que nous connaissons, nous force à supposer qu'il se trouve dans les profondeurs des substances bien plus lourdes. Comment espérer de les connaître jamais par une étude directe, c'est-à-dire par l'étude isolée du globe?

Enfin, en ce qui touche les phénomènes géologiques, remarquons que nous n'en pouvons observer

que les manifestations les plus superficielles, et que rien ne nous démontre la nature de leur cause. Les volcans, les tremblements de terre, les bossellements généraux, les émanations de toutes sortes, le métamorphisme, regardés par nombre de géologues comme fournissant des arguments décisifs en faveur de l'hypothèse d'une chaleur interne, peuvent facilement, selon d'autres géologues, s'expliquer d'une toute autre façon, c'est-à-dire par l'intervention de causes purement locales. Deux écoles sont donc en présence : chacune d'elles trouve dans l'examen incomplet du globe des preuves à l'appui de ses doctrines, et il ne semble pas que jamais les questions qui les séparent puissent être définitivement résolues par la géologie descriptive.

Eh bien, toutes ces connaissances géologiques qui nous manquent, l'étude convenablement dirigée des corps célestes nous les procurera.

Ainsi, pour ce qui est de l'origine de la terre, cette étude par les résultats de l'analyse spectrale et par ceux de l'analyse directe des météorites nous apporte la confirmation la plus complète de la théorie de Laplace. Elle atteste une fois de plus l'unité de plan de l'univers, et nous donne de nouveaux motifs d'admirer la majestueuse harmonie des choses. D'un autre côté, par l'examen du soleil, dont la

constitution est l'objet de travaux si nombreux et si remarquables; par l'examen de la lune et par celui des météorites, nous arrivons à préciser les phases successives, passées ou futures, de notre planète.

La structure interne de la terre est de même très-vivement éclairée, et d'une manière positive, par les données que fournissent les roches extra-terrestres : roches que nous sommes autorisés maintenant à regarder comme analogues, sinon comme identiques, aux masses des régions terrestres que leur profondeur rend pour nous inaccessibles.

Enfin, la cause même des actions géologiques intérieures qui se manifestent à la surface du globe paraît devoir être complétement dévoilée par l'examen des phénomènes qui se passent sur le soleil et sur les planètes, ainsi que de ceux qui ont laissé des empreintes si nettes sur la lune et dans la substance des météorites. De toutes parts nous avons les preuves les plus manifestes d'une chaleur interne actuelle ou éteinte suivant les astres; et comme les effets que nous lui voyons produire sur ceux-ci sont identiques aux phénomènes qui se manifestent à la surface du globe, il est impossible de nier que ces derniers la reconnaissent pour cause. De façon que l'observation du ciel vient résoudre la question ca-

pitale de la géologie terrestre, et que l'on pouvait croire au-dessus de tout contrôle direct.

Dans tout ceci, il n'est question que du progrès que l'étude des corps célestes imprimera à la connaissance de la terre; remarquons maintenant que réciproquement les faits dont l'observation est le plus facile autour de nous donnent l'explication d'apparences sans eux inexplicables que présentent les astres.

Les montagnes de la lune sont des volcans, les calottes blanches des pôles de Mars sont des glaces, les bandes de Jupiter sont des nuages témoignant de l'existence de vents réguliers; etc.; nous pouvons affirmer toutes ces choses, parce que nous avons sur la terre des volcans, des glaces polaires et des vents alizés. Et de la comparaison de ces phénomènes avec ceux que présente notre planète nous pouvons tirer des conséquences bien probables quant aux conditions climatériques réalisées à la surface des astres dont il s'agit.

En outre, l'examen géologique de l'univers nous conduit à reconnaître entre ces grands êtres vivants un continuel échange de forces et un apport presque ininterrompu de matières, fait qui établit une ressemblance de plus entre les astres et les corps vivants, puisqu'il a ses analogues directs parmi les harmonies externes des corps organisés.

C'est tout cet ensemble immense de faits, dont beaucoup sont de connaissance ancienne, mais dont la plupart sont dus aux progrès les plus récents de la science, qui constitue la géologie comparée. Le double but de celle-ci est donc en résumé : 1° de déterminer les rapports de composition et de structure que présentent entre elles les masses sidérales; 2° de découvrir les conditions de formation de ces masses et de prévoir leur avenir.

Comme on le pense bien, c'est surtout à l'étude du système solaire, le plus accessible de tous à nos investigations, et qui, comparé aux autres régions de l'univers, représente pour nous le connu, que devra tout d'abord profiter et que profitera toujours plus particulièrement cette nouvelle branche de recherches; et c'est la nature des choses qui nous prescrit de rapporter à ce système les données groupées dans les chapitres qui vont suivre. Il sera en effet l'objet spécial de nos études; mais tous les éléments de comparaison que fournit l'inspection du ciel seront soigneusement rapprochés des termes similaires fournis par la région de l'espace que nous habitons. Et même en se particularisant nos recherches ne perdront rien de leur caractère de généralité.

Comme l'affinité est vraisemblablement moins in-

time entre les membres de systèmes astronomiques différents qu'entre ceux d'un même système, et comme il se peut qu'elle aille en s'amoindrissant à mesure que la distance entre eux augmente, on doit s'attendre à voir les termes de comparaison devenir très-rares dans certains cas. Mais ils ne présentent pas pour cela moins d'importance et ils n'en sont pas plus négligeables; car plus leur nombre diminue, plus s'accroît la généralité des caractères qui les fournissent, et celui de ces termes de comparaison qui subsisterait après la disparition de tous les autres porterait sur ce qu'il y a de plus essentiel dans les astres et révélerait leur état primitif commun. C'est ainsi que dans les nébuleuses *non résolubles*, qui sont de tous les corps célestes ceux qui ont le moins de traits de ressemblance avec notre système planétaire, nous trouvons aujourd'hui la représentation de la période embryonnaire de tout ce système.

Cet ouvrage sera divisé en deux parties répondant aux deux aspects différents (théorie et application), sous lesquels toute science peut et doit être considérée.

PREMIÈRE PARTIE.

PREMIÈRE PARTIE.

LES PRINCIPES DE LA GÉOLOGIE COMPARÉE.

La comparaison entre les astres de notre système comporte trois points de vue.

Le premier et le second, parfois difficiles à séparer quoique très-distincts, sont relatifs, l'un à la *Constitution des corps sidéraux*, l'autre aux *Phénomènes* dont ces corps sont ou dont ils ont été le théâtre.

Le troisième a pour objet la *Liaison des différentes parties du système solaire.*

Ces divers ordres de considérations forment le sujet des chapitres suivants.

CHAPITRE PREMIER.

CONSTITUTION DU SYSTÈME SOLAIRE.

Envisagé sous le rapport de sa constitution, le système solaire nous offre à considérer :

1° La forme extérieure des corps célestes;

2° Leur constitution intime.

FORME EXTÉRIEURE DES CORPS CÉLESTES.

Forme du soleil et des planètes. — Tout le monde sait que le soleil, les planètes et les satellites sont sphéroïdaux. Des instruments d'optique plus perfectionnés permettraient sans doute d'étendre ce caractère aux étoiles que leur distance fait apparaître

comme de simples points mathématiques et aux corps qui gravitent probablement autour d'elles.

Forme des météorites. — Par un contraste frappant, les météorites présentent des formes fragmentaires et tout à fait irrégulières. Nous verrons plus loin comment ces formes concordent avec l'origine qu'il convient d'assigner à ces corps célestes ; mais il faut bien remarquer que cette irrégularité n'est pas particulière aux échantillons qui tombent sur le sol, et qu'elle est également le propre des masses cosmiques dont ces échantillons ne sont souvent que des éclats. La certitude est acquise en effet que dans certains cas le corps attiré est parvenu tout entier à la surface de la terre : c'est, pour ne citer qu'un exemple, ce qui a eu lieu le 9 juin 1867, à Tadjera, près de Sétif, en Algérie, où, au dire des témoins, une météorite creusa sur le sol un sillon d'un kilomètre environ de longueur.

Il paraît bien, du reste, que cette forme fragmentaire ou polyédrique appartient aussi aux planètes télescopiques qui peuplent en si grand nombre le vaste espace compris entre les orbites de Mars et de Jupiter. Les brusques changements d'éclat que présentent plusieurs de ces astéroïdes paraissent, en effet, ne pouvoir s'expliquer qu'en admettant qu'ils tournent successivement vers nous des faces fort

inégales, les unes larges, les autres très-atténuées comme seraient des pointes.

Nous reviendrons sur ces curieux caractères, pour chercher à quelle cause on peut les attribuer.

Forme des anneaux de Saturne et de la lumière zodiacale. — Les anneaux de Saturne et la lumière zodiacale se rapprochent mutuellement par leur forme, qui ne se retrouve en aucun autre membre du système. Il paraît d'ailleurs que, malgré leur analogie d'aspect, ces corps célestes diffèrent beaucoup entre eux quant à leur constitution.

Forme des comètes et des étoiles filantes. — Les comètes, qu'on doit considérer comme appartenant, au moins temporairement, à notre système, puisque le soleil influe d'une manière décisive sur leur trajectoire, se rapprochent un peu des nébuleuses, dont il va être question, par la variabilité de leurs formes et de leur aspect. Cependant, elles en diffèrent essentiellement par leur mouvement au travers des constellations et par la mobilité de la matière dont elles sont formées. On les voit souvent changer de forme en très-peu de temps, et on en a vu même se diviser en portions restées tout à fait distinctes : mais outre que certains de ces phénomènes ne sont peut-être que des apparences, comme on le reconnaîtra dans la suite, ils rentrent dans un ordre d'idées que

nous ne sommes point dès maintenant préparés à aborder.

Un fait qui paraît aujourd'hui bien établi et que Chladni avait soupçonné dès 1819[1], c'est l'identité de substance entre les comètes et les étoiles filantes. Les noms de MM. Schiapparelli[2], Adams et Le Verrier[3] sont intimement unis dans la démonstration de ce fait, que les étoiles filantes résultent de la désagrégation de comètes, et pour ainsi dire de l'égrènement de celles-ci tout le long de leur orbite, et qu'elles constituent autour du soleil des anneaux plus ou moins continus que la route suivie par la terre coupe en certains points déterminés. Quant à la forme de ces étoiles filantes, elle paraît être celle de bulles gazeuses; mais la rapidité de leur course jointe à leur éphémère durée a empêché jusqu'ici de saisir les caractères spéciaux que cette forme peut présenter.

Forme des nébuleuses. — Les nébuleuses (et nous ne parlons que des nébuleuses irrésolubles, qui sans doute sont des systèmes solaires en voie de formation) offrent une apparente irrégularité de forme

[1] *Ueber feuer Meteore und uber die mit denselben herabgeffallenen Massen*, von Carl Friedrich Chladni; Vienne.

[2] *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, etc.*, t. LXIV, p. 598.

[3] *Ibid.*, t. LXIV, p. 94.

des plus remarquables. Toutefois, divers faits bien connus, étudiés d'abord par Herschel, montrent que la force universelle de la gravitation se fait sentir sur elles. Beaucoup sont sphéroïdales comme celle du Verseau ; d'autres, au nombre desquelles figure la nébuleuse portée aux catalogues sous le signe 18 H. IV, sont en spirale; il y en a d'annulaires, comme celle de la Lyre ; etc. Mais un certain nombre de ces astres : le Battant de cloche, la nébuleuse d'Orion, celle d'Andromède, etc., n'ont pas de forme symétrique ou déterminée.

En résumé, le plus grand nombre des corps célestes sont globulaires. Parmi ceux qui ne le sont pas, les uns, comme les comètes et les nébuleuses, paraissent tendre à le devenir; et les autres, comme les météorites et les astéroïdes, semblent avoir cessé de l'être.

CONSTITUTION INTIME DES CORPS CÉLESTES.

L'examen auquel nous allons procéder se divise naturellement en quatre points, relatifs à la composition *chimique* (corps simples); à la composition *minéralogique* (espèces minérales définies); à la composition *lithologique* (roches); enfin, à la composition *géologique*, dont le sens va de soi.

Nous n'aurons pas à ces divers égards des renseignements également précis et également complets; ils n'en seront que plus importants à recueillir.

§ 1. — Composition chimique des astres.

Le procédé au moyen duquel nous avons acquis le plus grand nombre de notions sur la constitution chimique des astres est connu sous le nom d'*analyse spectrale*. Il n'entre pas dans notre plan de la décrire, mais il est indispensable d'en rappeler en peu de mots le principe et les conséquences [1].

Il résulte de travaux récents, auxquels sont indissolublement liés les noms de MM. Bunsen et Kirchhoff, que l'étude convenablement conduite du spectre donné par une flamme indique la nature chimique des matières tenues en vapeurs dans cette flamme et même celle des matières que les rayons lumineux qu'elle émet ont pu traverser. Ces diverses substances déterminent en effet dans le spectre la production de ces raies transversales que Wollaston et Frauenhofer avaient observées, sans en expliquer l'origine et sans en découvrir la signification. Les corps, simples ou composés, donnent des raies ca-

[1] V. une note de M. Brewster sur l'*Histoire de l'analyse spectrale*. *Comptes rendus, etc.*, t. LXII, p. 17.

ractéristiques situées à des places parfaitement fixes du spectre, de façon que la détermination de ces raies est aussi sûre que la meilleure analyse chimique pour décider de la présence des corps qui les produisent. En outre, ce merveilleux procédé permet de reconnaître si le corps dont on a la caractéristique spectrale est porté à l'ignition ou si sa vapeur sert de milieu à la transmission de la lumière. La lumière est-elle émise par un corps opaque solide ou liquide incandescent, le spectre est *continu,* c'est-à-dire qu'il ne présente pas de raies et ne peut par conséquent rien enseigner quant à la nature chimique de la source lumineuse. Au contraire, le corps lumineux est-il gazeux ou réduit en vapeurs, les *raies* qu'il donne dans le spectre sont *brillantes.* Enfin, la lumière émise par une source quelconque traverse-t-elle avant d'arriver au prisme une épaisseur plus ou moins grande de vapeurs sombres, ces gaz ou ces vapeurs, en vertu de leur composition chimique, absorbent certaines radiations qui, manquant dès lors dans le spectre, sont remplacées par des *lignes sombres.*

Ce n'est pas tout. L'étude prismatique indique l'état plus ou moins grand de *pression* du gaz en expérience, par la largeur des raies; et comme il résulte des travaux de MM. Lockyer, Frankland,

Zöllner et autres, l'état de *mouvement* dont ce gaz peut être animé par la forme de ces mêmes raies [1].

Ainsi, composition, température, état physique, pression, mouvement de substances hors de portée pourvu qu'elles ne soient pas hors de vue; toutes ces notions sont fournies par l'examen d'un simple rayon lumineux. Disons rapidement les principaux résultats de cette admirable méthode appliquée à l'étude des corps célestes.

Composition chimique du soleil. — On admet maintenant, conformément aux vues de M. Faye, qu'autour d'un *noyau central* gazeux et relativement obscur s'est condensée une sorte de poussière solide ou liquide, lumineuse grâce à son pouvoir rayonnant, et qui constitue la *photosphère*. Celle-ci se déchire de temps en temps par places sous l'action de courants chauds venant de l'intérieur et qui la font passer à l'état de gaz non lumineux. Elle laisse voir alors, par les ouvertures ainsi produites, le noyau gazeux et obscur, et on donne le nom de *taches* aux apparences qui en résultent. Sur la photosphère est une enveloppe gazeuse très-peu dense dans laquelle se produisent des phénomènes spéciaux que nous décrirons; on désigne cette enveloppe, à cause de

[1] *Comptes rendus, etc.*, t. LXVIII, p. 320; et t. LXIX, p. 122.

sa nuance rose très-vif, sous le nom de *chromosphère*. Enfin, tout autour de l'astre, et jusqu'à une immense distance, s'étendrait une énorme *atmosphère* dont l'étude est jusqu'ici peu avancée, et qui apparaît durant les éclipses sous la forme bien connue de l'auréole solaire. Le P. Secchi pense, en outre, que la photosphère et la chromosphère sont séparées par une couche dont le caractère essentiel serait de donner un spectre continu ; mais M. Lockyer nie énergiquement l'exactitude de ce résultat, qui devra être contrôlé.

Ces diverses parties du soleil ont été soumises séparément à l'examen spectroscopique. La couche que nous venons d'appeler chromosphère donne un spectre qui, contrairement au spectre solaire ordinaire, est composé de raies brillantes : ce qui indique que cette couche est formée d'une matière gazeuse lumineuse. M. Lockyer y a reconnu [1], d'après la position des raies, outre la présence prédominante de l'hydrogène, qui avait été constatée par M. Janssen et les observateurs envoyés dans l'Inde à l'occasion de l'éclipse de 1868, le sodium, le barium, et le magnésium. On y observe en outre une double raie jaune voisine de celle du sodium et que M. Rayet

[1] *Comptes rendus, etc.*, t. LXIX, p. 121.

a soumise à une étude spéciale, mais sans la rapporter à une substance déterminée [1].

Nous n'avons pas à nous arrêter à la couche à spectre continu dont le P. Secchi est seul jusqu'ici à regarder l'existence comme démontrée.

Vient la photosphère, c'est-à-dire la couche même d'où émanent la chaleur et la lumière que le soleil répand à grands flots dans l'espace. C'est cette photosphère qui donne le spectre solaire proprement dit. Les innombrables raies *obscures* qui le sillonnent indiquent dans la source lumineuse l'existence d'un très-grand nombre de corps qui, tous, résultat de la plus haute portée, existent sur la terre. Les plus nettement caractérisés sont le sodium, le fer, le magnésium, le cuivre, le zinc, le barium, etc.

Le noyau interne étant obscur ne peut fournir aucun résultat, mais, chose remarquable, l'étude spectroscopique des taches a donné, principalement au P. Secchi [2], des faits différents de ceux que procure l'étude des régions voisines. Toutefois la différence réside, non pas dans la production de raies nouvelles, mais dans un renforcement très-considérable de raies déjà connues : peut-

[1] *Comptes rendus, etc.*, t. LXIX, p. 124.
[2] *Ibid.*, t. LXVIII, p. 1082, et t. LXIX, p. 163, 579 et 652.

être ces raies sont-elles simplement rendues plus visibles par la plus grande profondeur des régions solaires qui les fournissent. Il faut pourtant ajouter qu'en beaucoup d'occasions on a constaté dans le voisinage des taches le *renversement* des raies, c'est-à-dire la substitution de lignes brillantes aux lignes obscures.

Composition chimique des étoiles. — L'analyse spectrale des étoiles autres que le soleil a fourni à divers observateurs, et surtout à M. Huggins et au P. Secchi, des résultats dont l'importance contraste avec l'absence de données tirées de l'emploi des télescopes. Tandis que dans ces appareils, même les plus puissants, les étoiles restent sans disque, à l'état de simples points brillants, elles manifestent dans le spectroscope des caractères d'où l'on peut conclure la notion de leur nature intime.

A première vue, les spectres des étoiles présentent les analogies les plus étroites avec le spectre solaire. Ils montrent, comme celui-ci pour le soleil, que la lumière qui les produit émane d'une matière solide ou liquide chauffée au blanc intense, et qu'elle traverse une atmosphère de vapeurs absorbantes. De plus, on y retrouve les raies caractéristiques de corps simples connus sur la terre, au moins pour la plupart. Cependant les différentes étoiles, ob-

servées jusqu'à présent sont loin d'être identiques entre elles, au point de vue spectroscopique. Le P. Secchi, qui a fait de la spectroscopie stellaire une étude tout à fait spéciale, a reconnu que les étoiles se rapportent pour la plupart à quatre types parfaitement tranchés [1]. Cependant quelques spectres, peu nombreux, au lieu de se ranger nettement dans ces catégories, semblent servir d'intermédiaires entre elles.

Les *étoiles blanches*, qui comprennent environ la moitié de celles qui brillent dans notre firmament, et entre autre Sirius, Véga, Altaïr, Regulus, Rigel, celles de la grande Ourse à l'exception d'α, celles du Serpentaire, etc., forment le premier type. Leur spectre est formé de l'ensemble ordinaire de sept couleurs interrompu par quatre grandes lignes noires, l'une dans le rouge, la seconde dans le vert-bleu, et les deux dernières dans le violet. Ces quatre raies appartiennent à l'hydrogène. Outre ces lignes fondamentales et très-larges, on voit dans les étoiles les plus brillantes, comme Sirius, une raie noire très-fine dans le jaune qui paraît coïncider avec celle du sodium, et dans le vert des raies plus faibles, qui appartiennent au magnésium et au fer. La parti-

[1] *Le Soleil*, par le P. Secchi, p. 390.

cularité la plus frappante de ce type c'est la largeur de certaines raies, largeur qui tendrait à prouver que la couche absorbante possède une grande épaisseur, et qu'elle est soumise à une pression considérable.

Le deuxième type est celui des *étoiles jaunes*, qui représentent à peu près un tiers du nombre total des astres visibles, et dont nous avons des exemples dans la Chèvre, Pollux, Arcturus, Aldébaran, α de la grande Ourse, Procyon, etc. Le spectre de ces étoiles est parfaitement semblable à celui de notre soleil, c'est-à-dire qu'il est formé de lignes noires très-fines et très-serrées, occupant la même position que celles du spectre solaire. Ainsi, le P. Secchi a trouvé dans le spectre d'Arcturus trente raies qui coïncident avec trente raies de Frauenhofer ; c'est dire que ces étoiles jaunes ont la même composition que notre astre central et sont dans le même état physique que lui.

Le spectre du troisième type est assez extraordinaire. Il est composé d'un double système de bandes nébuleuses et de raies noires. α d'Hercule, β de Pégase, o de la Baleine, α d'Orion [1], Antarès, etc., en fournissent des exemples. En réalité les raies noires

[1] V. à propos d'α d'Orion le mémoire du P. Secchi, dans les *Comptes rendus, etc.*, t. LXII, p. 591.

fondamentales sont les mêmes que dans le deuxième type, mais en outre on trouve ici un grand nombre de bandes nébuleuses qui divisent tout le spectre et en font une espèce de colonnade. Ces bandes, dont la largeur et l'intensité sont très-variables, établissent entre les étoiles de cette catégorie des différences assez sensibles. Chose curieuse, toutes ces étoiles, dont on connaît trente environ, sont variables, et le P. Secchi pense que les zones spectrales qui viennent d'être citées dépendent des variations des étoiles, variations qui sont dues à l'action plus ou moins absorbante des atmosphères. « L'analyse spectrale des différentes parties du soleil nous a appris, dit l'astronome romain [1], qu'au fond des taches on obtient un spectre plus profondément rayé et traversé par des bandes noires analogues à celles qu'on voit dans α d'Orion. Nous pouvons conclure de cette remarque que les étoiles dont nous parlons (celles du troisième type) doivent leur spectre à une absorption analogue à celle qui se produit dans les taches du soleil. Si donc notre soleil se trouvait dépouillé de sa brillante photosphère et des feuilles ou grains lumineux qui recouvrent sa surface, il nous présenterait le même aspect que α d'Orion et les autres étoiles de

[1] *Le Soleil*, p. 393.

la même catégorie. » On peut penser que ces étoiles diffèrent de celles du deuxième type par l'épaisseur de leurs atmosphères et par le défaut de continuité de leurs photosphères : elles auraient des taches variables comme celles du soleil, mais dont les dimensions seraient incomparablement plus considérables.

Enfin le quatrième type, encore plus remarquable, se rapporte à de petites *étoiles de couleur rouge de sang* qui sont assez peu nombreuses. Leur spectre contient trois zones fondamentales, rouge, verte, bleue, qui ne peuvent pas se réduire à celles du type précédent par la suppression alternative d'une bande nébuleuse, car, quoique plusieurs lignes noires coïncident assez bien, la distribution de la lumière est tout à fait différente. Dans le troisième type, la lumière est plus vive dans les colonnes du côté du rouge, tandis qu'elle est plus vive ici du côté opposé, c'est-à-dire du côté du violet. Quelques-unes des raies noires les plus importantes coïncident à peu près avec celles du troisième type, et cependant le spectre dans son ensemble se présente comme un spectre direct appartenant à un corps gazeux. Le P. Secchi y a reconnu les raies des composés du carbone, telles qu'on les obtient en produisant une série d'étincelles électriques dans un mélange de vapeur de benzine et d'air atmosphérique. Les étoiles de ce type sont très-

peu nombreuses et on en cite à peine une trentaine.

Composition chimique des planètes. — Plusieurs observateurs ont étudié le spectre de diverses planètes [1]. Jupiter [2], Saturne [3], Mars, Vénus, Neptune [4] et Uranus [5] ont été successivement examinés. Le résultat général a été la découverte dans ces astres de corps existant sur la terre, sauf pour Jupiter, dont l'atmosphère a décelé la présence de substances inconnues dans la nôtre.

L'examen spectroscopique des anneaux de Saturne, qu'on peut regarder comme des satellites d'une forme spéciale, a donné des résultats analogues à ceux que la planète elle-même avait fournis. Cependant les raies y sont moins fortement indiquées, et montrent que le pouvoir absorbant de l'atmosphère de ces anneaux est plus faible que celui de l'atmosphère qui entoure le globe de la planète [6].

Composition chimique de la lumière zodiacale. — On n'a pas soumis la lumière zodiacale à une étude spectrale approfondie. L'opinion la plus générale est qu'elle consiste en une matière météorique ou en une

[1] *Le Soleil*, p. 342.
[2] *Comptes rendus*, t. LIX, p. 309.
[3] *Ibid.*, t. LVI, p. 543 et 1167.
[4] *Ibid.*, t. LXIX, p. 1050.
[5] *Ibid.*, t. LXVIII, p. 761.
[6] *Ibid.*, t. LV, p. 92 et 751.

matière cométaire qui se dirige lentement vers le soleil.

Composition chimique des comètes et des étoiles filantes. — L'analyse prismatique des comètes prouve que leur substance est identique à celle des nébuleuses gazeuses. Dès 1864 M. Donati trouva que le spectre d'une comète apparue cette année-là était formé de trois raies brillantes, verte, jaune et rouge, séparées par des lacunes. Depuis, M. Huggins [1] observa dans une autre comète l'existence simultanée de deux spectres, dont l'un, très-faible et continu, fourni par la chevelure, montra que celle-ci devait sa visibilité à la lueur réfléchie du soleil, et dont l'autre, dû au noyau, lumineux par lui-même, consistait en une raie brillante. De nombreuses observations faites par divers savants sur les comètes de Tempel [2], de Brorsen [3], de Winnecke [4], etc., ont donné lieu à des découvertes analogues. Le dernier de ces astres a présenté au P. Secchi des raies qui coïncidaient avec celles qui caractérisent le carbone.

On a commencé l'étude spectrale des étoiles filantes, et naturellement on s'est d'abord préoccupé des bo-

[1] *Analyse spectrale des corps célestes*, par William Huggins.
[2] *Comptes rendus, etc.*, t. LXIX, p. 210.
[3] *Ibid.*, t. LXVI, p. 881, 1209, 1111, 1188.
[4] *Ibid.*, t. LXVI, p. 1299 et 1336.

lides que leur gros volume rend plus commode à observer. M. Alexandre Herschel a fait connaître récemment le spectre de plusieurs de ces météores, et il a signalé divers faits intéressants. Le plus remarquable est la présence du sodium en vapeurs dans la traînée de divers bolides.

Composition chimique des nébuleuses. — Plusieurs nébuleuses ont pu être soumises au spectroscope [1]. Nous ne parlons, bien entendu, que des nébuleuses *irrésolubles*, les autres ne pouvant point être distinguées des étoiles, dont elles sont de simples amas. Depuis plus de cent cinquante ans, les astronomes étaient très-préoccupés de déterminer la véritable nature des nébuleuses. Après les beaux travaux d'où William Herschel avait conclu que ces masses sont formées de matière cosmique accumulée, les perfectionnements des appareils optiques avaient résolu en étoiles un très-grand nombre de nébuleuses considérées comme homogènes, et l'on put douter qu'il y eût vraiment des nébuleuses irrésolubles. Il paraissait même bien difficile d'arriver jamais à la solution du problème, puisqu'on pouvait toujours supposer un appareil plus puissant que celui dont on disposait. Cependant la question fut complète-

[1] V. les mémoires du P. Secchi dans les *Comptes rendus, etc.*, t. LVI, p. 543 et 1167

ment élucidée par M. William Huggins[1] qui, au mois d'août 1864, examinant au spectroscope la nébuleuse désignée dans les catalogues par le signe 37, H. IV, du Dragon, reconnut, aux caractères de son spectre, exclusivement formé de trois raies brillantes, que la lumière de cet astre n'émane pas d'une substance solide ou liquide, mais d'un gaz lumineux. En outre, la position des raies dans le spectre devait, d'après ce qu'on a vu, faire connaître la composition de ce gaz. Les mesures prises au micromètre montrèrent que la plus brillante de ces raies occupe une position très-voisine de l'une des raies les plus nettes du spectre de l'azote; une deuxième ligne correspondait à l'une de celles de l'hydrogène; quant à la troisième, elle était très-voisine de celle du barium, mais ne coïncidait pas absolument avec elle, et l'on doit se demander si elle indique un élément inconnu ou simplement un état particulier de l'un de nos corps simples. Outre ces raies brillantes, signes d'un gaz incandescent, on voit un spectre continu excessivement faible. Ce spectre n'a pas de largeur apparente, et doit par conséquent provenird'une lumière diffuse et peu intense qui semble correspondre au centre de la nébuleuse. Celle-ci a donc un

[1] *Analyse spectrale des corps célestes.*

noyau, premier degré, sans doute, de la condensation qui la transformera en soleil.

Composition chimique des météorites. — Pour les météorites, ce n'est pas par la méthode spectrale mais par l'analyse chimique ordinaire qu'elles ont été interrogées. Les résultats que cette analyse a fournis méritent une attention spéciale, à cause de leur caractère de précision. Ils consistent dans la découverte chez les roches extra-terrestres d'une trentaine au moins de corps simples, qui *tous*, point capital, comptent parmi les éléments de la chimie terrestre. Toutefois ces corps simples sont, comme on le voit par leur nombre, loin de représenter tous ceux que nous connaissons. Ils appartiennent surtout aux métaux facilement oxydables, tels que le potassium, le sodium, etc., ou aux métaux communs, comme le fer. Les métalloïdes bien constatés sont en petit nombre, et les métaux précieux, comme l'or, le platine, l'argent, le mercure, n'ont point été rencontrés.

En somme il résulte de l'énumération qu'on vient de lire que, sauf quelques indications spectrales douteuses, les astres n'offrent guère que des corps simples existant sur la terre. Beaucoup des éléments connus dans nos laboratoires ne se montrent pas dans les spectres astronomiques; mais on ne sau-

rait sans témérité conclure à leur absence plutôt qu'à leur rareté, et l'on avouera que les faits qui précèdent fournissent un argument bien décisif au principe de l'unité de constitution de l'univers.

Une conclusion pareille va nous être fournie par l'examen de la composition minéralogique des astres, quelque incomplet que cet examen soit encore à présent.

§ 2. — **Composition minéralogique des astres.**

Ajoutant une merveille à celles qu'on lui devait déjà, l'analyse spectrale donne dans quelques cas le moyen de reconnaître dans les corps célestes l'existence de composés définis ou, si l'on veut, *d'espèces minéralogiques*.

Composition minéralogique des étoiles. — Ainsi, on a pu affirmer, d'après l'étude de leurs spectres, que le soleil et quelques étoiles renferment de la vapeur d'eau [1]. Il y a même des étoiles, et le soleil est du nombre, qui contiennent certains gaz composés que le P. Secchi est conduit à rapprocher de quelques hydrocarbures et spécialement de la vapeur de benzyle [2].

[1] *Comptes rendus, etc.*, t. LXVIII, p. 358.
[2] *Ibid.*, t. LXVIII, p. 1086.

Composition minéralogique des planètes. — L'atmosphère de Jupiter et celle de Saturne ont donné à M. Janssen le spectre caractéristique de la vapeur d'eau.

Composition minéralogique des météorites. — Mais, comme on le conçoit, c'est surtout par l'étude des météorites qu'on a pu connaître des espèces minéralogiques étrangères à notre globe ; et, ainsi qu'on le verra plus loin, leur examen a conduit à des conséquences extrêmement importantes, non-seulement pour la minéralogie, mais encore pour la géologie proprement dite.

Les espèces minéralogiques des météorites sont, outre des silicates plus ou moins analogues aux silicates terrestres, et sur lesquels nous allons revenir, deux groupes de composés qui se distinguent surtout de nos minéraux terrestres les plus voisins par l'absence d'oxygène. Tels sont d'une part des alliages métalliques formés de fer et de nickel en proportions variables, mais définies pour chacun d'eux et parmi lesquels on remarque surtout ceux qui portent les noms quelque peu barbares de *kamacite*, de *tænite*, de *plessite*, d'*octibbehite*, etc.; et du fer plus ou moins carburé à la manière de nos fontes et de nos aciers[1].

[1] *Recherches sur la composition et la structure des météorites*, par

Tels sont, d'autre part, des phosphures de fer et de nickel, dont le plus fréquent a été appelé *schreibersite*, en l'honneur du minéralogiste Schreibers. Sur le globe terrestre, les minéraux les plus comparables à ces espèces météoritiques sont pour les premiers, les oxydes et le carbonate de fer; et pour les autres, les phosphates du même métal; ils n'en diffèrent comme on voit que par leur état oxydé. Ce fait est important, et nous aurons l'occasion d'en faire ressortir l'intérêt.

Les silicates des météorites, d'ordinaire à base de magnésie et quelquefois d'alumine, sont, comme nous l'avons dit, fort analogues et parfois même identiques aux silicates terrestres. C'est ainsi qu'ils se rapportent souvent aux mêmes espèces : *labrador*, *anorthite*, *péridot*, *enstatite*, *augite*, *hornblende*, *serpentine*, etc. Cependant on a désigné sous des dénominations spéciales, comme *shepardite*, *chladnite*, *howardite*, *piddingtonite*, *chantonnite*, etc., des silicates, assez mal définis pour la plupart, et qu'on n'a pas rapportés rigoureusement aux espèces de notre globe.

Outre les silicates, les météorites renferment certains carbonates, comme la *breunérite*, qui est à base de fer et de magnésie; des phosphates, comme l'*a-*

M. Stanislas Meunier, *Ann. de chim. et de phys.*, 4e série, t. XVII, p. 5, 1869.

patite, dont la base est la chaux; et des sulfates alcalins. On y trouve aussi des oxydes, comme le *fer magnétique*, le *fer chromé*, l'*eau*; des sulfures, comme la *pyrite magnétique*; et des chlorures, comme le *sel ammoniac*.

§ 3. — Composition lithologique des astres.

La détermination des roches qui entrent dans la composition des astres est extrêmement difficile; aussi sommes-nous encore bien incomplétement renseignés sur cet important sujet.

Composition lithologique de Mars. — Nous trouvons à citer d'abord les notions acquises sur Mars, où l'on a reconnu la présence de continents, de mers et de glaces polaires; car l'eau est une roche au même titre que le granit ou le calcaire.

Composition lithologique de la lune. — Pour la lune, les données sont un peu plus précises, et il est certain que l'on trouverait les analogues des roches lunaires parmi nos roches volcaniques, les unes poreuses et scoriacées, sans doute trachytiques, qui constituent les cratères; les autres lisses, unies, épanchées, comme nos trass et les déjections de nos volcans. Les grands cirques ont une physionomie

qui porte M. Lecoq à les comparer aux escarpements de porphyre.

Composition lithologique des météorites. — Mais ici encore c'est aux météorites que nous devons nos connaissances les plus positives. Les météorites sont en effet de véritables roches, qu'on a pu soumettre aux mêmes études que les roches terrestres. On a déterminé le nombre et la nature des minéraux qui les constituent, et reconnu leurs diverses structures. Or il résulte de ces travaux que le nombre des types de roches météoritiques est de beaucoup inférieur au nombre des chutes de ces visiteurs célestes; ou, en d'autres termes, que nous voyons revenir les mêmes roches dans des chutes successives. Ainsi, la riche collection du Muséum d'histoire naturelle qui comprend 220 chutes environ, ne fournit qu'une quarantaine de types de roches réellement distincts. Ces types ont reçu des noms spéciaux, que, malgré leur nouveauté, et afin d'éviter des périphrases, nous serons forcé quelquefois d'employer dans la suite [1].

Parmi ces roches il en est qui sont identiques à des roches terrestres; résultat analogue a celui

[1] *Établissement des types de roches météoritiques*, par M. Stanislas Meunier, dans le *Cosmos* de janvier et février 1870.

que nous ont offert les minéraux. On peut comme exemple citer la roche que M. Gustave Rose appelle *eukrite*, roche dont les chutes de Juvinas (1821) et de Jonzac (1819) fournissent des échantillons, et qu'on ne saurait distinguer des laves doléritiques du volcan islandais appelé Thjorza. On peut citer aussi la *chassignite*, tombée en 1815 à Chassigny dans la Haute-Marne, et qui est identique à la *dunite*, qui constitue toute une chaîne de montagnes de la Nouvelle-Zélande.

Néanmoins, les roches météoritiques les plus nombreuses diffèrent des masses terrestres, les unes un peu, les autres beaucoup. En général, et suivant la remarque de M. Lawrence Smith, on peut par la pensée faire disparaître à peu près la différence dont il s'agit en ajoutant à la masse céleste une certaine quantité d'oxygène[1]; c'est ainsi que les fers météoritiques n'ont leurs analogues que dans nos minerais de fer, qui sont des oxydes; et que la plupart des pierres cosmiques se distinguent surtout de nos roches silicatées magnésiennes par la substitution aux grains de fer oxydulé de celles-ci de grains d'alliages métalliques. M. Daubrée a cherché à

[1] *Silliman's american Journal of sciences and arts*, 2e série, t. XIX, mai 1855.

imiter le produit de fusion des météorites au moyen des roches terrestres les plus analogues et qui peuvent être considérées comme représentant les résultats de leur oxydation immédiate [1].

Pour la structure, la comparaison donne des résultats du même genre. Dans certains cas, l'identité est complète à ce point de vue entre les masses des deux gisements. C'est ce qui, en outre des roches rigoureusement semblables que nous avons citées, arrive, pour la serpentine comparée aux roches météoritiques qui constituent par exemple les pierres de Chantonnay (1812) et d'Aumale (1865), et que nous désignons respectivement sous les noms de *chantonnite* et d'*aumalite*.

Ailleurs, la différence est profonde, et par exemple on ne trouve aucune roche terrestre dont la structure rappelle celle des fers météoriques. Cette structure remarquable est mise en évidence par une manipulation connue sous le nom d'*expérience de Widmannstætten* [2]. Si après avoir poli une surface plane sur un fer météorique, sur celui de Caille par exemple, on la soumet à l'action corrosive d'un acide, on voit,

[1] *Expériences synthétiques relatives aux météorites*, par M. Daubrée, dans les *Comptes rendus*, etc., t. LXII, p. 200, 269 et 660. — Voyez aussi le *Journal des savants* de 1870.

[2] *Poggendorff's Annalen*, t. CXIX, p. 99, 250 264 et 477.

contrairement à ce qui a lieu pour une lame polie de fer artificiel, apparaître un moiré d'une régularité extrême. Ce moiré ou, comme on dit, cette *figure* est due à l'existence dans la masse métallique de divers alliages de fer et de nickel dont la solubilité est en rapport avec la composition, et qu'une cristallisation générale de l'ensemble a disposés dans un ordre régulier. Cette structure si remarquable fait des masses qui nous occupent une sorte d'intermédiaires entre les minéraux et les roches : elles ont des premiers les caractères géométriques, et des autres la composition complexe. Il est rare que deux fers différents présentent rigoureusement la même figure, et il arrive que certains d'entre eux, au lieu du réseau régulier habituel, ne donnent que des dessins confus et comme brouillés. C'est entre autres ce que présentent les masses trouvées aux États-Unis, à des époques diverses, à Jewel-Hill, à Octibbeha, à Tuczon, etc.

Le plus ordinairement les météorites pierreuses, sur la constitution desquelles nous aurons, dans un instant, l'occasion de revenir, consistent en un mélange de divers silicates magnésiens, comme le péridot, le pyroxène et l'amphibole, dans lesquels sont disséminés à l'état de grenailles plusieurs minéraux métalliques, tels que du fer nickelé, du fer oxydulé,

de la pyrite magnétique, etc. Il nous est interdit d'énumérer ici les types qu'on distingue parmi ces pierres.

Formant une espèce de transition entre ces dernières et les masses de fer que nous citions d'abord, certaines météorites renferment, en proportions à peu près égales, des minéraux lithoïdes et des minéraux métalliques. On les a longtemps réunies sous les noms communs, mais vagues, de *lithosidérites* et de *sidérolithes* et on peut y distinguer, entre autres, trois types remarquablement nets. Le premier, représenté par un bloc célèbre découvert en 1749 à Krasnojarsk en Sibérie, et dont on doit la première description au naturaliste russe Pallas, consiste en fer qui contient à l'état de dissémination de gros cristaux limpides de péridot. Le deuxième, très-bien représenté par un fer découvert dans la cordillère de Deesa, au Chili, se distingue surtout du précédent par la substitution aux cristaux déterminés, de fragments anguleux et irréguliers d'une roche noire. Le dernier, enfin, qui comprend les nombreuses météorites de la sierra de Chaco, en Bolivie, est composé, comme les pierres proprement dites, d'un enchevêtrement de cristaux silicatés et de grenailles métalliques; mais celles-ci présentent un volume relativement énorme.

§ 4. — Composition géologique des astres.

Le même jour, jeté d'une façon si inégale sur la composition chimique, minéralogique et lithologique des astres, s'est étendu dans quelques cas à leur constitution géologique, c'est-à-dire à la manière d'être relative des diverses roches qui les composent.

Composition géologique du soleil et des étoiles. — Un des corps célestes qui ont donné les résultats les plus nets est le soleil, dont nous avons déjà énuméré les différentes couches superposées. On a vu que sur un noyau obscur, et sans doute gazeux, repose une enveloppe liquide ou même solide, qui doit à son état physique le vif éclat qu'elle répand et qu'on a voulu rappeler en la nommant *photosphère*. Sur la photosphère, et peut-être séparée d'elle par une substance que caractérise un spectre continu, se trouve la *chromosphère*, formée d'un gaz incandescent et qui est enveloppée elle-même par une immense *atmosphère*.

Nous avons cité aussi divers résultats, fort incomplets jusqu'ici, d'où il ressort que les étoiles ont la même constitution générale que le soleil, puisque, comme lui, elles donnent deux spectres, l'un à raies obscures et l'autre à raies brillantes. Enfin l'existence, signalée plus haut, d'un noyau dans certaines

nébuleuses irrésolubles est une ressemblance entre celles-ci et notre astre central.

Composition géologique de la terre. — Si nous passons aux planètes, nous trouvons une structure toute différente, que l'étude de la terre nous dévoile, au moins pour ses parties externes. La terre présente, comme on sait, sur un noyau central, soustrait par sa situation à nos recherches directes, mais que divers faits, développés plus loin, nous conduisent à regarder comme fluide, un épais revêtement de roches dont on a le type dans le *granite* des trottoirs. Cette croûte se brise de temps en temps et laisse échapper sous forme de filons, un certain nombre de *roches* inférieures, auxquelles on donne le nom d'*éruptives*, et parmi lesquelles les plus connues sont le *porphyre*, la *serpentine*, etc. Des éruptions plus ou moins analogues ont lieu encore aujourd'hui, et avec un appareil spécial qui porte le nom de *phénomènes volcaniques* : le *basalte*, le *trachyte*, etc., ont une origine de ce genre. Dans certains cas ces exsudations de roches sont remplacées par des *exhalaisons gazeuses* ou par des *sources thermales*. Celles-ci, suivant leur nature, se condensant ou précipitant parfois le long des parois de la crevasse qui leur livrait passage, ont donné naissance à ces *filons métallifères* dont la recherche et l'exploitation cons-

tituent le travail des mineurs. Sur le revêtement granitique, et par suite de l'action des eaux, se sont empilés successivement de très-nombreux dépôts auxquels on donne le nom général de *terrains stratifiés*, et qui, par les restes appelés *fossiles* qu'ils renferment, nous renseignent sur les êtres vivants qui nous ont précédés sur la terre. L'*océan* forme comme un revêtement superposé aux sédiments, et d'où ils émergent par places sous forme de continents; de même l'*atmosphère*, ou océan aérien, peut être considéré comme formant la couche la plus externe du globe.

Composition géologique de Mars. — Grâce à sa proximité et à la transparence de son atmosphère, la surface de Mars a pu être soumise à un examen approfondi. On y a reconnu comme sur la terre des continents et des océans. Même M. Proctor [1] signale comme une des plus remarquables particularités de cette planète le grand nombre des passes longues et étroites et des mers en *goulots de bouteille* (bottle-necked). Cette disposition diffère essentiellement de tout ce que l'on connaît sur la terre. Ainsi, la passe d'Huggins est un long courant fourchu, beaucoup trop grand pour qu'on puisse le comparer

[1] *Scientific Review* du 1er mars 1869.

à aucune rivière terrestre. Il s'étend sur 3,000 milles anglais environ, et joint la mer d'Airy à celle de Maraldi. La passe de Bessel est presqu'aussi longue. Un autre canal, que les cartes désignent sous le nom de Nasmyth, est encore plus remarquable : commençant près de la mer de Tycho, il coule vers l'est, parallèlement à elle et à celle de Beer, puis se courbe brusquement vers le sud et, s'élargissant alors, forme le fond de la mer de Kaiser.

Les mers en goulots de bouteille ou lacs constituent un trait singulier de la planète Mars. Celles que réunit le canal d'Oudemann, forment une paire très-remarquable. On en voit deux autres qui se ressemblent encore bien plus entre elles : elles sont séparées de l'océan Delarue par un isthme courbe si étroit que, n'étaient ses vastes dimensions, on serait tenté de voir dans tout cet ensemble le résultat d'un travail artificiel. Mais chacune des deux mers a 3,000 milles de long et 130 milles de large ; un canal qui les réunit à l'océan Delarue n'a pas une longueur moindre de 250 milles

On sait que sur la terre les océans ont trois fois la surface des continents, et l'on doit noter que l'Europe, l'Asie et l'Afrique forment ensemble une seule grande île, tandis qu'une autre île consiste dans la réunion des deux Amériques. Or, sur Mars il existe

une disposition tout-à-fait différente. D'abord, il y a une égalité presque complète entre les surfaces occupées par les continents et par les mers, et, en second lieu, ceux-ci sont mêlés les uns aux autres de la manière la plus compliquée. C'est au point qu'un voyageur pourrait, soit par voie de terre, soit en bateau, visiter presque tous les quartiers de la planète sans avoir à quitter l'élément sur lequel il aurait commencé son voyage.

Composition géologique de Mercure. — Un trait caractéristique de la structure de la terre consiste dans l'existence de montagnes; on observe des accidents du même genre à la surface de Mars, de Mercure et de Vénus. Pour Mercure[1], dont l'étude est très-gênée par la proximité du Soleil, on a reconnu la présence d'une montagne à ce fait que le croissant présenté par la planète dans certaines de ses phases n'a pas ses deux pointes également aiguës; l'une d'elles, la méridionale, s'émousse sensiblement et présente une véritable troncature. Il est indiqué, en effet, pour rendre compte de cette inégalité des cornes, d'admettre que près de la pointe sud il existe une montagne très-élevée qui arrête la lumière du soleil et l'empêche d'aller jusqu'au point que la corne aiguë aurait occupé sans cela. L'étendue de

[1] *Astronomie populaire* d'Arago, t. II, p. 514.

cette troncature peut servir à calculer la hauteur de la montagne qui la produit. Cette hauteur a été trouvée égale à 5 lieues de 4 kilomètres; c'est la 125e partie à peu près du rayon de la planète. Cette montagne est donc extrêmement grande si on la compare à celles qui existent sur la terre.

Composition géologique de Vénus. — Pour Vénus les résultats sont bien plus nets, et l'on est autorisé à dire que sa surface est couverte de hautes montagnes[1]; souvent en effet les cornes des croissants sont tronquées et leurs bords dentelés comme ceux des croissants lunaires. Les plus hautes de ces montagnes sont cinq fois plus élevées que les plus hautes montagnes de la terre; leur hauteur atteint 44 kilomètres ou 11 lieues.

De même que la terre, ces planètes sont enveloppées d'une atmosphère. On remarque même que celle-ci est plus épaisse dans Mercure que dans Vénus et surtout que dans Mars. Les petites pla nètes situées entre Mars et Jupiter se distinguent des précédentes sous ce rapport par l'absence de toute enveloppe gazeuse.

Composition géologique des planètes supérieures. — Autant qu'on en peut juger dès maintenant, les pla-

[1] *Astronomie populaire* d'Arago, t. II, p. 524.

nètes les plus éloignées du soleil semblent avoir une constitution différente de celle des planètes, dites inférieures, qui viennent de nous occuper. Ainsi, Jupiter et Saturne se comportent comme des masses qui seraient liquides; et Uranus et Neptune, peut-être faiblement lumineuses par elles-mêmes, donnent des spectres tout à fait pareils à ceux que produisent les comètes et les nébuleuses irrésolubles; c'est-à-dire qu'elles se présentent comme des corps gazeux.

Composition géologique de la lune. — Dans la lune on reconnaît sans peine une constitution essentiellement volcanique, mais outre les cratères ou *puys*, pour employer l'expression consacrée en Auvergne, on observe à la surface de notre satellite de larges surfaces unies ou peu accidentées que l'on désigne d'habitude sous la dénomination, sans doute fort impropre, de *mers*. Dans quelques régions on a pu constater, à des signes plus ou moins nets, une espèce de stratification.

Certains observateurs ont signalé des corrosions manifestes analogues à celles que produit l'océan, et le pouvoir que possèdent diverses plaines de polariser fortement la lumière a conduit à supposer qu'elles peuvent bien êtres remplies par des glaciers.

Il n'existe dans la lune aucune trace d'atmosphère.

Voici comment on s'en est assuré : lorsqu'on fait l'observation du spectre d'une étoile un peu avant son occultation par le bord sombre de la lune, ou au moment de cette occultation, on peut espérer de saisir quelque phénomène caractéristique du passage de la lumière de l'étoile à travers l'atmosphère lunaire. Car s'il existe une telle atmosphère, qui puisse, soit par les substances dont elle est composée, soit par les vapeurs tenues en dissolution, exercer une absorption élective sur la lumière de l'étoile, cette absorption doit être indiquée par l'apparition dans le spectre de nouvelles raies sombres, immédiatement avant son occultation par la lune. Or, M. Huggins[1], partant de ces idées, a observé avec le plus grand soin la disparition du spectre de l'étoile ε des Poissons lors de son occultation le 4 janvier 1865, mais il n'a découvert aucun signe d'absorption lunaire. On doit donc conclure que notre satellite ne possède pas d'atmosphère.

Composition géologique des météorites. — Enfin, à la suite d'études récentes, nous avons commencé ce qu'on peut appeler la géologie des météorites, c'est-à-dire la recherche des relations stratigraphiques qu'elles peuvent avoir eues entre elle[2]. Déjà, à

[1] *Analyse spectrale des corps célestes.*

[2] *Nouvelles recherches sur les relations stratigraphiques de divers*

plusieurs reprises, on avait émis l'idée, très-vraisemblable, que les météorites identiques entre elles dérivent d'un même gisement originel; mais on ne pouvait donner aucune preuve satisfaisante à l'appui de cette opinion, puisqu'il suffit de supposer l'exercice des mêmes causes dans des régions diverses de l'espace pour expliquer la formation indépendante de masses identiques entre elles. La preuve de communauté d'origine, qui ne pouvait être acquise de la sorte, nous a été fournie par l'examen de météorites qui ont la structure des *brèches* terrestres, étant formées comme celles-ci de fragments différents les uns des autres et cimentées entre eux. Ayant à plusieurs reprises retrouvé dans ces fragments tous les caractères de composition et de structure propres à des météorites monogéniques, c'est-à-dire homogènes dans toutes leurs parties, il était par cela même démontré et que ces dernières ont été quelque part en relations stratigraphiques entre elles et avec les brèches.

C'est ainsi qu'une météorite, tombée à Saint-Mesmin (Aube), en 1866, est composée de fragments blancs cimentés par une substance foncée; or les

types de météorites, par M. Stanislas Meunier, dans le *Cosmos* du 1er janvier 1870; et *Mémoire sur la géologie des météorites*, par le même, dans le *Moniteur scientifique Quesneville*, t. XIII, p. 97; février 1871.

fragments sont pareils à ceux qu'on obtiendrait en concassant la météorite ramassée à Lucé (Sarthe), en 1768, et le ciment est identique à la matière qui constitue la masse recueillie en 1813, à Limerick, en Irlande; et puisque la pierre de Saint-Mesmin est formée de celles de Lucé et de Limerick, il est évident que ces deux dernières ont été en relations entre elles et avec la première elle-même, là où celle-ci s'est formée. C'est ainsi encore que la météorite de Canellas, en Espagne (1861), également formée de fragments cimentés entre eux, est par ses fragments identique à la pierre de Montréjeau dans la Haute-Garonne (1858), et par son ciment identique à la roche de Limerick déjà nommée; d'où suit que ces deux dernières ont été en relations entre elles et avec la pierre de Canellas, là où celle-ci s'est formée. Et comme la météorite de Canellas et celle de Saint-Mesmin ont été l'une et l'autre en rapport avec celle de Limerick, c'est la preuve qu'elles ont eu ensemble un même gisement. Voilà donc la communauté d'origine démontrée pour cinq types de pierres qui comprennent tous ensemble un très-grand nombre de chutes.

L'examen d'une autre météorite, celle qui tomba à Parnallée, dans l'Inde, en 1857, conduit à des résultats non moins concluants. Cette météorite est une brèche polygénique contenant au moins douze es-

pèces différentes de grains. Or, sept de ceux-ci représentent des types lithologiques parfaitement nets, et en démontrent par conséquent les anciennes relations stratigraphiques : ce sont les types auxquels ont donné leur nom les chutes de Tadjera en Algérie (1867); Bishopville, États-Unis (1843), et Chassigny (Haute-Marne) (1815); et quatre autres types non représentés encore par des météorites homogènes dans la collection du Muséum, et dont nous devons nous attendre à observer la chute. La *chassignite* est contenue aussi à l'état de fragments, d'ailleurs fort peu nombreux, dans la météorite de Saint-Mesmin, citée plus haut.

On s'assure de même, que des pierres dont l'énumération serait longue, et dont la météorite tombée à Aumale, en Algérie, en 1865, peut fournir le type, ont été en relations avec les masses tombées, à de fréquentes reprises, que représente celle qui fut ramassée à Chantonnay (Vendée), en 1812. Des faits encore plus significatifs sont révélés par l'étude de certains fers météoriques, au premier rang desquels doit être cité celui qui fut récemment découvert dans la cordillère de Deesa, et dont on a parlé plus haut[1]. On a vu que ce fer, ou plutôt

[1] *Analyse minéralogique de fer météorique de Deesa*, par M. Stanislas Meunier, dans le *Cosmos* de novembre et décembre 1869.

cette lithosidérite, se distingue de la plupart des masses métalliques extra-terrestres par sa structure brèchiforme et qu'il se compose d'une pâte de fer renfermant des fragments lithoïdes noirs et anguleux. Or, on peut s'assurer, d'une part, que la pâte métallique est identique à la substance des fers météoriques homogènes, dont le gros bloc de Caille fournit le type le plus accusé; et, d'autre part, que les fragments pierreux ne peuvent être distingués sous aucun rapport de la roche tombée à Sétif, en Algérie, en 1866. Que conclure de là, sinon que les roches représentées, entre autres, par les masses de Caille et de Sétif ont été en relations? Car il serait évidemment absurde de supposer que le fer de Deesa se soit formé d'un seul jet avec la structure que nous lui voyons.

Mais l'analyse des brèches n'est pas le seul moyen que nous ayons de démontrer que d'anciennes relations stratigraphiques ont existé entre les météorites. Deux autres ordres de faits conduisent au même résultat.

D'abord la transformation artificielle de certains types en d'autres types par un véritable métamorphisme. Nous montrerons plus loin que la roche d'Aumale, quoique d'une couleur gris très-clair, est la souche de la météorite tombée à Sétif, et qui est

parfaitement noire. On arrive à des résultats semblables pour les quatre types différents représentés respectivement par les météorites de Montréjeau, Haute-Garonne (1858), de Butsura, Indes anglaises (1861), de Belaja-Zerkwa, Pologne (1697), et de Stawropol, Caucase (1857).

Enfin, le passage minéralogique qu'on observe entre certains types météoritiques; ainsi la pierre tombée à Forsyth, États-Unis, en 1829, constitue un véritable intermédiaire entre les roches de Lucé et de Montréjeau que nous citions tout-à-l'heure. De même, la pierre brèchoïde trouvée à Assam, Indes anglaises, en 1846, se place entre les brèches de Saint-Mesmin et de Canellas, déjà décrites. De même, encore, la météorite d'Ohaba, Siebenbourg (1857), établit le passage de la roche de Montréjeau à celle de Limerick; etc. Pour apprécier la signification de ces faits il suffit de se rappeler le rôle des intermédiaires entre les types lithologiques terrestres.

Cet ensemble de faits permet d'affirmer que les météorites dérivent d'un ou de plusieurs astres, qui apparemment sont aujourd'hui démolis. Et de même qu'on peut avec les restes exhumés des animaux éteints restituer les êtres des époques antérieures à la nôtre, de même pourrons-nous, par l'examen des météorites, reconstruire l'astre ou

les astres dont elles sont proprement les vestiges fossiles.

On verra plus loin que les météorites se divisent, quant à leur mode de formation, en : stratiformes, éruptives, métamorphiques, et brèchiformes non éruptives. Ces diverses roches occupaient sans doute dans le globe d'où elles proviennent des positions relatives semblables à celles que leurs analogues occupent dans l'écorce terrestre. Or, les roches stratiformes sont superposées d'après leur densité; les masses éruptives forment en général des enclaves transversaux ou des filons intercalés dans les précédentes; les masses métamorphiques sont au contact ou dans le voisinage des filons, et enfin les brèches leur sont liées d'une manière plus ou moins intime.

Au centre du globe que nous cherchons à reconstruire existait évidemment un noyau métallique, formé surtout des roches dites fers météoriques, et sur lequel se plaçaient probablement les fers à grains de péridot comme est celui de Pallas. Puis venaient les pierres, les unes renfermant des grenailles métalliques, d'abord très-grosses comme dans les météorites de la sierra de Chaco, ensuite de plus en plus fines comme dans les masses de l'Aigle, d'Aumale, de Lucé, de Montréjeau, etc., et les autres dépourvues de métal libre, comme les roches dont les chutes

de Juvinas et de Chassigny entre autres, fournissent des échantillons.

Chronologiquement, ces assises successives sont d'autant plus anciennes qu'elles sont plus éloignées du centre. La pierre d'Aumale, par exemple, s'est solidifiée avant que les masses métalliques plus profondes fussent assez refroidies pour cesser d'être fluides. Celles-ci se contractant progressivement déterminèrent, à diverses reprises, le fendillement du revêtement pierreux, et la masse fondue fut injectée dans les failles ainsi ouvertes et s'y solidifia. C'est de cette façon que se produisirent les fers reconnaissables aux images confuses qu'ils donnent aux acides, et parmi lesquels on peut citer les masses découvertes à Octibbeha, à Tuczon, etc. En traversant les masses déjà solidifiées qui leur étaient superposées, ces injections métalliques leur firent subir dans certains cas des modifications plus ou moins profondes, un véritable métamorphisme, et, comme nous le montrerons dans le chapitre suivant, les pierres grises d'Aumale et de Montréjeau par exemple, se transformèrent respectivement dans les roches noires de Tadjéra et de Stawropol. Du même coup, il arriva que des fragments pierreux, arrachés aux parois des failles, furent empâtés dans le métal fondu, et que devenus dès lors métamorphiques ils donnèrent lieu

à des brèches du genre de celle de Deesa. D'ailleurs, les phénomènes éruptifs ne furent pas le privilége des roches métalliques. Les masses pierreuses, comme il arrive si manifestement sur notre globe, furent poussées parfois des profondeurs à travers les roches préalablement crevassées qui gisaient au-dessus d'elles. C'est ainsi que la roche d'Aumale, poussée après sa solidification, prit les caractères de la roche de Chantonnay. Peut-être, enfin, est-ce aux têtes des filons que se plaçaient les roches brèchoïdes dont les liens d'origine avec les masses stratifiées sont si évidents, et qui sont représentées dans leurs types principaux par les pierres de Saint-Mesmin et de Canellas.

Comme on voit, l'esquisse que nous pouvons tracer du globe météoritique est dès à présent assez détaillée, et ses divers détails, comparés à ceux que fournit la coupe du globe terrestre, se prêtent un appui mutuel assez grand, pour que nous soyons autorisés à regarder cette esquisse comme représentant la réalité des choses. Nous pouvons même à certains égards entrevoir la lumière dont l'avenir éclairera divers points très-particuliers de la question. Ainsi, il deviendra évidemment possible de se faire une idée approximative du volume que devait avoir l'astre détruit. Deux ordres de faits au moins concourront

à nous fournir cette donnée. D'abord la vitesse, de plus en plus petite, avec laquelle s'est fait le refroidissement et par conséquent la solidification des roches de plus en plus profondes, et dont nous pouvons juger par l'état plus ou moins net de leur cristallisation. Ensuite, la valeur des réactions mécaniques internes auxquelles sont dues les injections des filons métalliques, filons qui, malgré leur très-forte densité, ont évidemment traversé des épaisseurs énormes de roches superposées.

RÉSUMÉ DE CE CHAPITRE.

En résumé, il ressort des faits exposés dans ce chapitre que la constitution des diverses parties de l'univers physique, autant que nous en pouvons juger dès à présent, n'est pas aussi variée qu'on aurait pu le croire *à priori*, et qu'elle tend à reproduire un même plan général sur des échelles différentes. Certes les nébuleuses et notre globe diffèrent beaucoup sous le rapport de la constitution, et pourtant nous avons la preuve que de mêmes forces s'y exercent et qu'un certain nombre d'éléments leur sont communs. Les étoiles, ou du moins les plus brillantes, offrent avec notre soleil, malgré l'énorme distance qui les en sépare, des traits de ressemblance tels qu'il est bien pro-

bable qu'elles ont une constitution tout-à-fait analogue à la sienne. De même les nébuleuses irrésolubles sont formées de gaz fort analogues à ceux qui constituent les comètes et les étoiles filantes, gaz qui font aussi partie de notre planète, ne serait-ce que pour y avoir été apportés par ces derniers météores.

Cette unité de constitution des astres dispose l'esprit à les regarder comme issus d'une même origine ; voyons si l'étude des phénomènes qu'ils présentent fortifiera ou infirmera cette première conclusion.

CHAPITRE II.

PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES DANS LE SYSTÈME SOLAIRE.

Les phénomènes dont les astres ont été, ou dont ils continuent d'être le théâtre, n'ont pu être étudiés encore que d'une manière très-incomplète. Dans la plupart des cas, nous ne voyons en effet des corps célestes que la partie la plus extérieure. Par conséquent, les forces qui s'exercent dans ces corps ne nous donnent prise sur elles que par un petit nombre de leurs manifestations. Cependant, et par exception, les météorites qui sont, comme nous l'avons vu, des fragments provenant de toutes les profondeurs d'un astre détruit, nous procurent des renseignements sur des régions habituellement cachées à nos regards;

de sorte qu'en somme, malgré la nouveauté de ces études, l'ensemble des faits acquis présente déjà beaucoup d'intérêt.

PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES PROPREMENT DITS.

Parmi les actions géologiques, la plus manifeste sur les astres est due à un foyer de chaleur situé dans les profondeurs de ces astres. Cette chaleur interne a produit des éruptions, des soulèvements, des actions métamorphiques qu'on peut étudier en divers points de l'espace céleste; et comme on observe en ces localités différentes des effets inégalement avancés de son action, la comparaison entre ces effets permettra sans doute de déterminer plus tard, avec beaucoup de précision, les lois qui en régissent la cause.

§ 1. — **Phénomènes éruptifs dans les astres.**

Phénomènes éruptifs dans le soleil. — Les phénomènes éruptifs s'observent de toutes parts; mais c'est sur le soleil qu'ils ont le plus de développement, et tout le monde connaît les belles études dont ils ont récemment été l'objet de la part de MM. Jans-

sen [1], Lockyer [2], Respighi [3], Secchi [4], Zöllner [5], etc. Le résultat capital de ces recherches est que les *protubérances*, c'est-à-dire ces singuliers appendices lumineux, observés pendant les dernières éclipses totales, et sur la nature desquelles on ne savait absolument rien, sont de tumultueuses éruptions de substances, violemment expulsées par les régions profondes de l'astre. On dirait une matière gazeuse, lancée verticalement dans un espace rempli par une atmosphère très-peu dense, s'y épanouissant et retombant ensuite lentement en affectant les formes les plus capricieuses.

Les perfectionnements apportés aux procédés de l'analyse spectrale ont permis de reconnaître, lors de la formation des protubérances, l'injection de certaines vapeurs telles que celles du magnésium et du fer. Suivant MM. Frankland et Lockyer [6], ces vapeurs n'atteignent d'habitude qu'une très-faible hauteur dans la chromosphère; cependant, dans de rares occasions ces observateurs ont constaté que la vapeur de magnésium peut former des nuages flottants au-

[1] *Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 93, 181, 245, 312, 314, 713 et 715.
[2] *Id.*, t. LXIX, p. 122.
[3] *Atti del Academia del Nuovi Lincei*, 5 décembre 1869.
[4] *Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 1243.
[5] *Id.* t. LXIX, p. 689.
[6] *Id.*, t. LXIX, p. 264.

dessus de la photosphère et complétement séparés de celle-ci.

Le fait de l'injection gazeuse dont les protubérances sont le siége est encore mis en évidence par les mesures de précision que les mêmes savants sont parvenus à prendre à l'aide du spectroscope, et dont ils ont contrôlé l'exactitude par des essais faits dans le laboratoire sur des gaz comprimés artificiellement à un degré rigoureusement connu [1].

Il paraît démontré que le phénomène protubérantiel est étroitement uni à celui des taches. Les faits les plus saillants à cet égard sont dus à M. Respighi, qui a montré par la comparaison de photographies prises tous les jours pendant deux mois, qu'on ne voit jamais de protubérances dans le voisinage immédiat des pôles. Elles commencent plus près de ces points que les taches, mais, de même que les taches, elles n'y atteignent pas. De plus, et contrairement à l'apparence, M. Respighi a constaté que les protubérances ne sont pas toujours des phénomènes aussi changeants qu'on l'a cru : il en a vu persister sur le même point pendant plusieurs jours, d'où il résulte jusqu'à l'évidence qu'elles sont liées à des actions internes du globe solaire. A ces faits on doit ajou-

[1] *Comptes rendus*, etc., t. LXVIII, p. 420, et t. LXIX, p. 452.

ter ceux qu'annonce le P. Secchi. L'astronome romain a trouvé dans le voisinage des taches, quelle que soit leur situation sur le disque solaire, les raies caractéristiques des protubérances [1].

De son côté, M. J. Chacornac n'hésite pas à comparer les taches solaires à nos dislocations géologiques. Suivant lui, à l'origine, les taches d'un même groupe se montrent séparément, puis, lorsque la puissance des forces éruptives a acquis un certain degré, des lignes de dislocation apparaissent, indiquant la relation qui existe entre tous les cratères d'un même groupe. « Or, dit-il, il est bien remarquable que ces orifices d'éruption soient situés aux extrémités des lignes de grandes dislocations, ainsi que les vallées circulaires d'élévation aux extrémités d'une brisure de l'écorce terrestre [2]. »

Phénomènes éruptifs dans les étoiles. — Bien que leur distance les dérobe à une observation complète, les étoiles montrent dans certains cas des phénomènes éruptifs analogues à ceux du soleil : au moins ne peut-on pas expliquer autrement les apparences qu'elles nous offrent.

C'est ce qui a lieu tout spécialement pour les étoiles temporaires. L'existence d'un gaz chaud qui

[1] *Comptes rendus*, etc., t. LXVIII, p. 237.
[2] *Id.*, t. LXII, p. 1095.

les enveloppe, la soudaineté de l'explosion de leur lumière, la diminution rapide de leur éclat, ont conduit M. Huggins à penser que l'astre s'est trouvé subitement enveloppé des flammes de l'hydrogène incandescent. « Il pourrait se faire que cet astre, dit le savant anglais parlant de l'étoile τ de la Couronne, ait été le siége de quelque grande convulsion avec dégagement énorme de gaz mis en liberté. Une grande portion de ce gaz était de l'hydrogène, qui brûlait à la surface de la planète en se combinant avec quelque autre élément. Ce gaz enflammé émettait la lumière caractérisée par le spectre à raies brillantes ; le spectre de l'autre portion de la lumière stellaire pouvait indiquer que cette terrible déflagration gazeuse avait surchauffé et rendu plus vivement incandescente la matière solide de la photosphère. Lorsque l'hydrogène libre eut été épuisé, la flamme s'abattit graduellement, la photosphère devint moins lumineuse et l'étoile revint à son premier éclat [1]. »

Phénomènes éruptifs dans les comètes. — On admet généralement que des phénomènes éruptifs se produisent dans les comètes. L'observation de ces astres paraît montrer en effet que la chevelure et la

[1] *Analyse spectrale de corps célestes.*

queue sont formées de matières issues du noyau. D'après M. Huggins, l'ordre ordinaire des phénomènes qui accompagnent la formation d'une queue semble être celui-ci : d'intervalle en intervalle de la matière serait projetée par le noyau dans le direction du soleil ; elle ne se dispose pas tout aussitôt en queue, mais forme d'ordinaire, en avant du noyau, un nuage lumineux intense, au sein duquel, pendant un certain temps, la substance du noyau continuerait à pénétrer sous forme de courant. On voit naître de la sorte une succession d'enveloppes dont la matière se dispose plus tard dans une direction opposée au soleil et finit par former la queue. Habituellement on observe entre ces enveloppes, des espaces de couleur plus sombre et, d'après M. Faye, les queues multiples s'expliqueraient par la présence dans les atmosphères cométaires de substances de densités très-diverses [1].

Toutefois, un des physiciens les plus illustres de l'Angleterre, M. J. Tyndall, voit dans les queues des comètes le résultat d'actions toutes différentes qui lui ont été révélées par des expériences de laboratoire [2]. Dans le cours de recherches bien connues sur la décomposition des vapeurs par la lumière, l'au-

[1] *Comptes rendus*, t. LIII, p. 264.
[2] *Archives des sciences physiques*, décembre 1868 et février 1869.

teur a été conduit à constater qu'une quantité de substance à peine appréciable, quand elle est diffusée sous forme de nuage, peut émettre, par réflexion une masse de lumière considérable, et qu'en particulier une matière d'une ténuité presque infinie, et qu'il faudrait probablement multiplier par des millions pour qu'elle pesât autant que l'air qui la renferme, est apte à émettre une lumière bien plus intense que celle des queues des comètes. Partant de là, M. Tyndall pense qu'une comète est formée de vapeurs susceptibles d'être décomposées par les rayons solaires ; la tête visible et la queue seraient un nuage résultant de cette décomposition. Dans cette théorie, et c'est le fait important pour nous, la queue ne consisterait pas en une matière projetée par la comète, mais bien en une matière précipitée par le faisceau des rayons solaires qui traversent l'atmosphère cométaire. On prouve expérimentalement que cette précipitation peut avoir lieu lentement le long du faisceau ou instantanément sur toute sa longueur, de façon que la rapidité prodigieuse avec laquelle la queue se développe s'expliquerait sans qu'on fût forcé de recourir aux mouvements inconcevables de translation admis jusqu'à présent.

Phénomènes éruptifs dans les planètes. —Nul doute que les phénomènes éruptifs ne s'exercent sur les

planètes, au moins sur les plus voisines de la nôtre. On sait en quoi ils consistent sur la terre : la croûte solide se crevassant par places, sous l'influence des réactions mécaniques auxquelles elle est soumise, par ces crevasses ou *failles* s'élèvent des matériaux sous-jacents, qui, à cause de cette origine, prennent le nom spécial de roches éruptives. Les espèces de murs souterrains que ces roches forment ainsi, se présentent sous des formes peu variées dont les principales sont désignées sous les appellations de *filons*, de *dykes*, de *culots* ou de *typhons*.

Phénomènes éruptifs dans les météorites. — Les météorites fournissent des preuves extrêmement nettes et par conséquent très précieuses, des phénomènes éruptifs qui se sont produits sur le globe dont elles faisaient partie. Nous avons déjà, d'une manière incidente, annoncé l'existence de météorites éruptives; il convient de revenir un moment sur ce sujet.

Le fer de Deesa, qui a été décrit plus haut, représente, dans toute la force du terme, une brèche de filon éruptif. Il serait impossible autrement de comprendre comment il a acquis la structure remarquable qu'il présente. On se rappelle qu'il offre une pâte métallique dans laquelle sont disséminés des fragments anguleux de nature pierreuse. Le fer,

avons-nous dit, est identique pour la composition à celui qui constitue la masse trouvée à Caille, mais il s'en distingue par sa structure bien moins cristalline reconnaissable aux figures brouillées qu'il donne par l'expérience de Widmannstætten; quant à la pierre, elle ne peut être différenciée, à quelque égard que ce soit, de la météorite tombée à Sétif en 1867.

Or, on reconnaît expérimentalement que le fer de Caille peut, par l'effet de la fusion, prendre les caractères de cristallisation confuse que présente la pâte du bloc chilien, et que c'est à l'influence d'une température analogue à celle qui fond le fer que les fragments pierreux doivent leur coloration noire caractéristique. Il est donc évident que le fer de Deesa n'est autre chose que du fer de Caille qui, à l'état de fusion plus ou moins visqueuse, a empâté des fragments de pierre, et pour cela il faut qu'il ait été *injecté* au travers d'assises de nature lithoïde.

C'est donc, comme nous l'annoncions, un véritable filon cosmique, et son étude permet d'établir pour la première fois une chronologie géogénique entre les roches météoritiques, puisqu'elle montre que le fer de Caille, ayant été encore fluide quand la pierre de Sétif était déjà solidifiée, est géologiquement plus récent que celle-ci.

Du reste, le fer de Deesa n'est pas le seul exem-

ple que l'on puisse citer de roches météoritiques éruptives; on doit en rapprocher les fers de Toula et d'Hemalga, qui ont une structure bréchiforme plus ou moins analogue, et aussi, d'après M. de Haidinger, le fer de Copiapo [1]. Il est permis de supposer en outre que les fers qui, tout en offrant la composition ordinaire, ne donnent pas les figures de Widmannstætten, ou qui les donnent mal, sont eux-mêmes des fragments de masses éruptives.

Enfin, à côté des filons métalliques il convient de placer des filons essentiellement pierreux et qui dès lors se rapprochent beaucoup plus de ceux que nous offre l'écorce terrestre. C'est ainsi que nous avons démontré que la roche qui constitue les météorites de Chantonnay, d'Agen, de Pultusk, etc., n'est autre chose que la forme éruptive d'une autre roche dont les chutes de New-Concord, de Tourinne-la-Grosse, d'Aumale, etc., ont fourni des échantillons.

§ 2. — Phénomènes volcaniques dans les astres.

Phénomènes volcaniques dans la lune. — Abordons plus spécialement les phénomènes volcaniques. Nous

[1] *Sitzungsberichte der kaiserliche Akademie der Wissenchaften zu Wien*, t. XLIX, 12 mai 1864, et t. LXI, 28 avril 1870.

n'avons pas à rappeler en quoi ils consistent. Tout porte à penser qu'ils se manifestent sur les planètes les plus voisines de la terre. Ils se montrent sur la lune avec une netteté admirable : « C'est sur la lune, a dit M. Faye, que les géologues pourraient étudier les actions plutoniques dans toute leur pureté. »

Les cirques volcaniques y sont plus profonds que sur la terre, et cela tient sans doute à la faible valeur de la pesanteur sur notre satellite et à l'expansion, dès lors très-puissante des corps gazeux qui ont déterminé ces explosions. Les mêmes causes ont déterminé sur la lune le nombre considérable et l'étendue des cavités cratériformes dont elle est couverte. On a compté jusqu'à 50,000 de ces cratères, et il doit en exister certainement une grande quantité dont le diamètre est trop petit pour que nous puissions les apercevoir.

Parmi ces cirques, nous devons citer d'une manière toute particulière, à cause de ses dimensions, la montagne de Copernic, qui atteint 3,400 mètres, c'est-à-dire environ la hauteur de l'Etna, et qui a été étudiée avec soin par le P. Secchi. Elle offre une double enceinte annulaire de montagnes ; l'extérieure, qui est la plus basse, se présente avec un diamètre de 87 kilomètres, et l'intérieure, à bords plus élevés,

a un diamètre de 69 kilomètres; c'est sur cette enceinte que se trouve le pic élevé de 3,400 mètres. Le fond ou l'intérieur du cratère a 36 kilomètres; il présente lui-même une triple enceinte de roches brisées, et un grand nombre de gros fragments amoncelés au pied de l'escarpement semblent avoir été détachés des montagnes environnantes. Le cratère présente deux grandes échancrures ou plutôt deux crevasses aux extrémités du diamètre nord-sud.

Les cirques de la lune ont une grande analogie avec les cirques et les montagnes volcaniques de l'Auvergne et d'autres régions du globe terrestre. Ainsi, la montagne de Copernic, que nous venons de décrire, a pu être comparée par le P. Secchi aux cratères volcaniques des environs de Rome, et M. Henri Lecoq [1] y voit l'analogue des montagnes trachytiques du Puy-de-Dôme. De même, suivant la remarque de ce géologue, le grand cratère d'Aristillus est entouré, dans toute sa partie sud extérieure, de plusieurs séries d'obélisques plus élevés que les roches Tuillière et Sanadoire du Mont-Dore, dont les masses énormes ont de la ressemblance avec les pics démantelés du volcan lunaire. Une montagne qui peut être de la même nature lithologique que les bords du cirque,

[1] *La Lune et l'Auvergne.*

puis une autre plus petite à côté occupent la plaine unie du fond du cratère. La hauteur de ces deux montagnes est à peu près celle dont les deux Puys-de-Dôme, le grand et le petit, s'élèvent au-dessus de la plaine environnante. L'aspect de ces grandes roches du cirque d'Aristillus rappelle la belle vallée de Chaudefour au Mont-Dore.

Certains cirques de l'Auvergne peuvent, pour la dimension, rivaliser avec les petits cratères de la lune; ainsi, le cirque du Cantal a 10 kilomètres, et plusieurs de ceux qui existent sur la lune ne sont pas plus grands. Enfin quelques-unes des montagnes de la même province peuvent également donner une idée, réduite il est vrai, des cratères conjoints si nombreux sur la lune. C'est ainsi que le Puy-de-Montchié, situé au sud du Puy-de-Dôme, offre quatre cratères réunis mais non confondus : les cirques de Riccius, Babb Lévi, Lindemann et Zagut sont également rapprochés et confluents par leur base. Les cratères de Cyrille et de Catharina, sur la lune, sont accouplés comme ceux de Jumes et de Coquille en Auvergne. Les deux cratères Azophi et Abenezra, situés à l'extrémité des rayons nord-est de Tycho, sont complétement accolés et semblent eux-mêmes avoir déformé un troisième cratère; disposition que rappelle celle du Puy-de-Verrière, vers l'extrémité

nord de la chaîne des Monts-Dore. Ces faits sont très-fréquents autour de Tycho, où les cavités sont en outre entremêlées de saillies et de crêtes que l'on pourrait considérer comme le produit d'éruptions : un grand nombre des affleurements de porphyres quartzifères et pinitifères de l'Auvergne ressemblent à ces saillies, et quelquefois se bifurquent comme elles.

En terminant l'intéressante notice à laquelle sont empruntés les faits qui précèdent, M. Lecoq signale encore d'autres rapprochements remarquables entre la surface de la lune et diverses régions de la terre [1]. « M. Charles Sainte-Claire-Deville, dit-il, trouverait certainement de l'analogie entre les cirques et les pitons de la lune et ceux qu'il a si nettement tracés sur sa belle carte de la Guadeloupe. Quand on examine l'admirable plan de l'Etna dessiné par M. P. de Waltershausen, et gravé avec une rare perfection par Cavallari, on se croit transporté aux environs du grand cratère Tycho, sur la lune. Une foule de détails et de petits accidents lunaires se retrouvent sur la fidèle image du grand volcan de Sicile. Les volcans de Bolivia, en Amérique, et les restes de l'ancien lac qui occupaient le cirque allongé autour duquel ils ont surgi, ont

[1] *Loc. cit.*, p. 35.

aussi leurs analogues sur la lune. L'Islande peut être comparée à plusieurs groupes de ses petits cratères. Santorin et les îles voisines ont encore la forme d'un de ses grands soulèvements. Le cirque des îles Barren, avec leur piton en activité, semble avoir été copié sur notre satellite. L'île de Palma, aux Canaries, est un véritable cratère lunaire. La Grande Caldera de Ténériffe, son pic gigantesque et les pustules volcaniques qui l'entourent semblent aussi appartenir aux régions les plus bouleversées de la lune. »

« Ces ressemblances des volcans lunaires avec ceux de la terre, continue le savant géologue, ont été plusieurs fois le sujet de nos entretiens avec le célèbre Léopold de Buch, en face de nos lacs et de nos cratères d'Auvergne. C'est avec raison que le P. Secchi, le savant astronome du collége romain, comparait quelques cirques volcaniques de la lune à ceux de l'Italie : on ne peut rien voir de plus frappant et de plus magnifique que ce vaste cirque d'Albano et Rocca di Papa, dans la campagne de Rome. Son diamètre est d'environ 12 kilomètres ; au milieu se trouve un autre cirque, dont le diamètre est d'environ 3 kilomètres, et sur le bord duquel est bâtie la ville de Rocca di Papa. Les pics de Monte-Calvo et de Neviera gisent dans ce cratère intérieur, tandis que les lacs d'Arno et de Nervi, et l'ancien lac desséché

d'Aricia sont autant de dépressions à bords escarpés et placées dans les dépendances du grand cirque de 12 kilomètres. C'est, en quelque sorte, la photographie d'une région lunaire. »

Phénomènes volcaniques dans les météorites. — On n'a rien observé chez les météorites qui permette d'affirmer d'une manière absolue que les actions volcaniques se développaient dans l'astre dont elles sont des fragments. Cependant, comme nous l'avons déjà indiqué, plusieurs d'entre elles, par exemple celles de Juvinas et de Jonzac, sont absolument identiques aux laves de certains volcans terrestres, comme celui de la Thjorza, en Islande. S'il est possible d'admettre l'existence de pareilles roches sans en conclure forcément à l'exercice des phénomènes volcaniques, il faut remarquer cependant que le gros échantillon de la chute de Juvinas conservé au Muséum porte des caractères qu'une éruption a pu seule lui donner. Nous voulons parler des fragments anguleux de nature peu différente, et visibles surtout par l'état différent de finesse de leur grain, qu'il renferme comme dans une pâte, et dont on ne peut expliquer autrement la présence. D'un autre côté, il résulte de l'analyse publiée par M. Grewinck[1] en même temps que de l'exa-

[1] *Die Meteoriten in Sammlungen,* par le Dr Otto Buchner (deuxième supplément).

men, même superficiel de ses caractères extérieurs, que la météorite tombée à Igast, en Livonie, le 17 mai 1855, ne peut sous aucun rapport être distinguée de nos pierres ponces, dont nulle part on ne constate la formation loin des foyers volcaniques.

§ 3. — Phénomènes de soulèvement dans les astres.

Phénomènes de soulèvement dans la terre. — Les phénomènes de soulèvement sont très-fréquents dans presque toutes les régions de notre globe, et c'est à eux que doivent leur constitution la plupart des chaînes de montagnes caractérisées. On sait que les deux versants de ces chaînes consistent chacun en une série identique de terrains d'âges différents, superposés et relevés de part et d'autre de la crête, et que l'axe de la chaîne est formé par des roches cristallines. Cette disposition ne peut s'expliquer qu'en admettant que les couches contemporaines, actuellement séparées sur les deux versants opposés, se rejoignaient autrefois de manière à ne former qu'un dépôt horizontal produit sur un fond de mer, et que leur séparation et leur redressement en sens inverse, sont dus à une fracture suivie d'un soulèvement. Quant à la cause de celui-ci et des ruptures qui ont dû nécessairement le précéder, on l'attribue généra-

lement à l'inégale contraction que le refroidissement a fait subir, dans les temps géologiques, à la masse fluide intérieure et à la croûte solide, qui ne formait à sa surface qu'une mince enveloppe. On suppose que cette croûte se contractait moins que la masse fluide et que, à diverses reprises, il a dû se faire entre ces deux parties du globe terrestre des vides qui ont amené la fracture et le plissement de la croûte; celle-ci, venant alors à s'appuyer sur la masse intérieure, il en est résulté une pression qui, jointe à la force d'expansion des gaz, a déterminé une partie des matières en fusion à monter et à remplir les fentes où elles se sont ensuite consolidées, et souvent ont cristallisé, servant ainsi de base et d'appui aux terrains stratifiés, inclinés de part et d'autre en sens inverse.

Dans un travail qui fait époque, un de nos plus grands géologues, M. Élie de Beaumont[1], a montré que les soulèvements affectent à la surface de la terre une symétrie très-régulière : ils se sont effectués suivant des arcs de grands cercles de la sphère, et dessinent à sa surface, pour employer le terme consacré, un réseau pentagonal. On observe d'ailleurs que généralement les chaînes de montagnes du

[1] *Systèmes de montagnes* et *Comptes rendus*, t. XXXV, p. 298.

même âge géologique sont parallèles et que celles qui offrent des directions différentes appartiennent à des époques distinctes.

Phénomènes de soulèvement dans la lune. — En dehors de notre globe, c'est sur la lune qu'on observe les faits les plus nets quant aux soulèvements et aux chaînes de montagnes[1]. Souvent celles-ci sont gigantesques; les pics de Daerfels et de Leibnitz atteignent 7824 mètres, c'est-à-dire la même hauteur que le Jawahir dans l'Himalaya. Dans cette chaîne terrestre, trois pics seulement dépassent la hauteur des montagnes lunaires qu'on vient de nommer, et le plus élevé de tous, le pic Everest, arrive à 8837 mètres. Or, il suffit de rappeler que cette dernière montagne n'est que la 1440e partie du diamètre de la terre, tandis que le pic de Leibnitz est la 470e partie du diamètre de la lune, pour montrer la différence dans l'intensité des actions bouleversantes. On se rappelle à cette occasion que les montagnes de Mercure et de Vénus sont, de même, beaucoup plus élevées que les montagnes terrestres.

M. Élie de Beaumont a présenté dans le temps à l'Académie des sciences deux notes de M. Mon-

[1] V. une note de M. Élie de Beaumont dans les *Comptes rendus*, t. XVI, p. 1033.

tani, ayant pour but d'établir que les lois de distribution. des chaînes montagneuses, suivant la symétrie pentagonale, s'étendraient aux montagnes de la Lune et à celle de Mars [1]. Sans aller dès à présent jusqu'à affirmer cette symétrie spéciale, très-vraisemblable, dans les chaînes lunaires, il faut remarquer avec M. Lecoq la tendance que présentent les accidents de notre satellite à affecter la direction nord-sud. « Cette orientation, ajoute le géologue de Clermont, est d'autant plus curieuse que sur la terre de nombreuses chaînes de montagnes suivent aussi, à très-peu de chose près, la direction des méridiens. C'est ce que l'on voit sur une grande partie du plateau central pour les lignes de fractures, les grandes vallées et les séries de cratères. » Une remarque analogue s'applique aux coulées qui partent du pied des cratères. La grande majorité suit principalement la direction nord-sud, comme les crêtes porphyriques de l'Auvergne.

Il faut ajouter, pour compléter l'énumération des phénomènes observées sur la lune, que d'après Schrœtter on y distingue les traces de plusieurs couches horizontales analogues à nos nappes basaltiques; couches qui sont superposées dans les grands

[1] *Comptes rendus*, t. LVI, p. 482 et 807.

creux comme Clavius, Agrippa, Scheiner, Arzachel et surtout Copernic. De même, John Herschel, est parvenu à apercevoir çà et là des divisions semblables à celles qui sur la terre marquent les dépôts successifs et superposés de matières volcaniques.

Résumant les faits jusqu'ici connus, M. Chacornac a tenté de restaurer l'histoire géologique de la lune. Pour bien comprendre le tableau qu'il en a tracé, il faut rappeler la distinction à établir entre les deux sortes de sol qui caractérisent la surface de notre satellite. La première sorte constitue ce qu'on a nommé dès le début des études lunaires le *Sol continental :* c'est le sol des régions montagneuses qui recouvrent presque toute la partie australe de l'hémisphère visible. La seconde sorte constitue les *Mers*, dont la couleur sombre et la surface nivelée leur donnent, suivant l'expression de John Herschel, toutes les apparences des plaines d'alluvion.

Ceci posé, voici comment, suivant M. Chacornac, les phénomènes se sont succédé à la surface de la lune [1]. A l'origine, l'écorce solide du satellite était peu résistante; et comme elle n'avait pas encore été bouleversée par des secousses, elle devait présenter dans tous ses points à peu près la même homogé-

[1] *Note sur les apparences de la surface lunaire.*

néité et la même épaisseur. La force expansive des gaz, agissant alors perpendiculairement aux couches superficielles et suivant les lignes de moindre résistance, dut briser l'enveloppe et produire des soulèvements de forme circulaire. C'est sans doute à cette période qu'il faut rapporter la formation des immenses circonvallations dont l'intérieur est aujourd'hui occupé par les plaines appelées mers. Succédant à cette période primitive, une sorte de diluvium général ou d'épanchement boueux aurait enseveli sous une masse brune plus des deux tiers de la surface visible de la lune, rempli le fond de tous les grands cratères, et, d'une extrémité à l'autre se serait étalé sensiblement sur un même niveau.

D'autres soulèvements se produisirent ensuite; mais, survenus à une époque où la croûte du globe lunaire avait acquis une plus grande épaisseur, ou encore provenant de forces élastiques moins considérables, ils donnèrent lieu aux plus grands cirques, déjà bien inférieurs aux formations primitives : telle paraît être l'origine des cirques de Shickardt, de Grimaldi, de Clavius. A leur suite apparurent une foule de cirques de dimensions moyennes, dont les enceintes couvrirent le sol tout entier de la lune, et qui se produisirent au sein même des circonvallations primitives.

§ 4. — Phénomènes métamorphiques dans les astres.

Phénomènes métamorphiques dans l'écorce terrestre. — On sait que dans l'écorce terrestre les roches d'éruption et les divers agents souterrains qui ont produit les phénomènes mécaniques dont nous nous sommes occupés précédemment ont en outre agi parfois sur les roches d'une manière qu'on pourrait appeler *moléculaire*, en modifiant leur texture et leur composition. Ces modifications, considérées dans leur ensemble, constituent un phénomène général auquel on a donné le nom de *métamorphisme*.

Un des faits les plus saillants en ce genre, et qui est devenu classique, a été décrit depuis longtemps par le docteur Berger, qui l'a observé dans le comté d'Antrim, en Irlande. Il consiste dans la transformation de la craie en calcaire cristallin, par l'intermédiaire de filons trappéens, qui traversent fréquemment le sol de cette contrée.

Phénomènes métamorphiques dans les météorites. — Contre toute attente, les météorites nous ont fourni tout récemment des preuves des actions métamorphiques qui se sont exercées sur le globe d'où ces météorites dérivent. Des expériences extrêmement

simples conduisent en effet à reconnaître que la roche noire qui constitue les fragments pierreux empâtés, comme on l'a vu, dans le fer de Deesa, et qui est identique à la pierre de Sétif, peut être reproduite artificiellement en faisant subir un véritable métamorphisme à certaines roches météoritiques toutes différentes. Les pierres appartenant aux types que représentent, entre autres, les chutes de Chantonnay et d'Aumale se prêtent parfaitement bien à l'expérience.

Que l'on chauffe ces roches, qui sont d'un gris clair, et qu'on les maintienne pendant un quart d'heure dans un creuset à la température rouge : on les trouvera, après refroidissement, complétement transformées. Leur couleur sera devenue noire, leur dureté et leur ténacité auront augmenté, et leur densité elle-même aura subi un léger accroissement. Enfin, déjà semblables avant l'expérience à la roche de Sétif pour la composition chimique, elles en auront pris tous les caractères extérieurs et ne sauront plus en aucune façon en être distinguées.

On remarquera en passant que c'était la première fois que l'on parvenait à reproduire artificiellement une météorite, reproduite d'ailleurs avec tant de perfection qu'il est impossible au plus habile de distinguer la roche naturelle de son imitation. Cette

circonstance, que la matière première de la transformation est elle-même une météorite, ne saurait diminuer l'intérêt de l'expérience.

Mais ce fait n'est déjà plus aujourd'hui isolé dans la science. La continuation de nos expériences ne tarda pas en effet à nous prouver que la météorite noire et à structure globulaire tombée à Stawropol, dans le Caucase, en 1857, résulte du métamorphisme de la roche oolithique grise qui constitue les météorites dont celle de Montréjeau peut fournir le type. En chauffant ces dernières dans un creuset, on réalise la reproduction artificielle de la météorite russe.

Enfin, élargissant encore le cercle du métamorphisme météoritique, nous avons reconnu que deux roches cosmiques représentées, l'une par la météorite de Belaja-Zerkwa en Pologne (1797), l'autre par la météorite de Butsura, Indes anglaises (1861), dérivent de la roche de Montréjeau, comme la pierre de Stawropol elle-même. La différence qui les sépare de cette dernière consiste dans ce que, par suite sans doute d'une action moins prolongée des influences métamorphiques, les globules seuls ont été transformés et que le ciment qui les relie a été respecté. Ces roches présentent en effet la structure des pierres de Stawropol et de Montréjeau; mais, tandis que leurs globules sont noirs, comme dans la première de ces

pierres, leur ciment est blanc comme dans la seconde. Par une application convenablement modérée de la chaleur, on transforme la pierre de Montréjeau en une masse qu'il est impossible de distinguer des pierres de Belaja-Zerkwa et de Butsura.

Pour en revenir à la masse de Deesa, si l'on suppose que, lors de son éruption à l'état de fusion plus ou moins visqueuse, le fer de Caille a empâté des fragments de la roche grise qui constitue la pierre d'Aumale, il n'a pu le faire sans les métamorphiser en roche noire de Sétif. Dès lors la présence dans le fer chilien de fragments de cette dernière roche est une preuve de plus que ce fer constitue réellement un filon. Quant à la masse de Sétif, qui ne se présente pas en contact avec des masses de fer auxquelles on puisse attribuer son métamorphisme, on est nécessairement porté à voir en elle un échantillon de la paroi, primitivement grise, contre laquelle a eu lieu l'éruption métallique. Pareille origine appartient sans doute à la masse de Stawropol, et il faut supposer que les pierres de Belaja-Zerkwa et de Butsura constituent des échantillons des mêmes assises situées moins près de la masse éruptive.

PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES.

A côté des phénomènes de géologie proprement dite doivent se placer les phénomènes rapportés plus spécialement à la météorologie.

Phénomènes météorologiques sur la terre. — Réduite à ses traits les plus généraux, la météorologie terrestre consiste surtout dans la circulation des océans et de l'atmosphère.

A l'équateur, l'évaporation des mers est plus abondante que partout ailleurs; il en résulte que les eaux polaires doivent se précipiter dans cette direction pour réparer les pertes subies par la région moyenne. Mais, en vertu de la vitesse acquise, il vient plus d'eau qu'il n'est nécessaire, et un contre-courant s'établit. Le mouvement de rotation de la terre modifie d'ailleurs la forme de ces courants, qui se présentent comme des cercles tangents à l'équateur et aux pôles. Deux courants de ce genre existent dans l'océan Atlantique et deux dans l'océan Pacifique; il y en a un dans la mer des Indes. Le plus connu de tous est celui de l'hémisphère nord de l'océan Atlantique, on lui donne le nom de *Gulf stream;* il transporte

jusque sous nos latitudes la chaleur prise aux tropiques, et sert de véhicule aux bois des Antilles qui vont échouer en Islande, et aux graines américaines qui poussent aux Açores [1].

Il se passe dans l'atmosphère des mouvements tout aussi réguliers que ceux dont l'océan est le théâtre, et ils reconnaissent les mêmes causes ; car ils sont dus, comme ces derniers, à l'échauffement inégal de l'équateur et du pôle et au mouvement de rotation du globe. A l'équateur, l'air raréfié s'élève, et, pour combler le vide relatif ainsi produit, des courants s'établissent dont le point de départ réside aux deux pôles. Là aussi il se fait un vide : des afflux descendants tendent à le combler, et un double courant supérieur, dirigé de l'équateur vers les pôles, complète deux cercles symétriques. La rotation s'oppose à ce que ces cercles soient dirigés suivant les méridiens ; ils font avec eux un angle aigu. Ces courants réguliers sont bien connus sous les noms d'*alizés* et de *contre alizés*.

Telle est, en peu de mots, la nature de cette grande circulation terrestre qu'on a retrouvée à des degrés divers dans plusieurs astres de notre système, tels que

[1] V. la *Géographie physique de la mer*, du commandant Maury, et *La Terre*, de M. E. Reclus.

les planètes les plus proches et le soleil lui-même.

Phénomènes météorologiques sur Jupiter. — Grâce à l'existence de nuages suspendus dans l'atmosphère de certaines planètes, des vents ont pu y être observés. C'est ainsi que Jupiter offre des nuages disposés en bandes régulières, qui indiquent évidemment des alizés. Parfois on y observe aussi la formation de remous circulaires comparables à nos ouragans.

Phénomènes météorologiques sur Mars. — Les observations sont encore plus précises pour Mars, où l'on trouve une météorologie identique de tous points à la météorologie terrestre, et, par exemple, des tourbillons bien contournés en spirale comme nos bourrasques.

On peut même s'étonner de ce que dans une planète tellement plus éloignée que nous du soleil il puisse exister une si complète ressemblance sous le rapport des conditions climatériques; mais, si nous considérons les résultats de M. J. Tyndall relativement au rayonnement de la chaleur, et si nous nous rappelons qu'une très-faible augmentation dans la quantité de certaines vapeurs présentes dans notre atmosphère suffirait pour rendre le climat de la terre intolérable, à cause de l'excès de chaleur (exactement comme fait une lame de verre qui retient dans l'espace qu'elle ferme la radiation solaire), nous

ne pouvons nous refuser de penser que sur Mars un arrangement convenable peut fort bien compenser la distance plus grande de cette planète par rapport au centre vivifiant de notre système.

Quoi qu'il en soit, on observe à sa surface, comme sur la terre, la succession des saisons : ainsi on voit vers les pôles apparaître, croître puis disparaître, deux taches blanchâtres dont l'éclat est plus que double de celui des autres parties de l'astre. La tache nord diminue d'amplitude pendant le printemps et l'été de l'hémisphère auquel elle appartient; elle augmente pendant les saisons suivantes. Le contraire a lieu au pôle sud, et on en a conclu légitimement qu'il se forme successivement autour des pôles de Mars des calottes étendues d'une matière blanchâtre semblable aux neiges qui se précipitent de notre atmosphère et dont la quantité est réglée par la température. « Herschel, dit Arago [1], étudia les deux taches neigeuses avec un soin infini. Le centre d'aucune de ces deux taches ne lui parut exactement placé aux pôles de rotation. La déviation semblait néanmoins plus grande pour la tache boréale que pour celle du pôle sud. Les changements observés dans les grandeurs absolues s'accordèrent à merveille avec l'idée

[1] *Astronomie populaire*, t. IV, p. 133

que ces taches sont des amas de glaces et de neiges. Si en 1781, par exemple, la tache parut extrêmement étendue, ce fut après un long hiver de cet hémisphère; ce fut après une période de douze mois pendant laquelle le pôle correspondant avait été entièrement privé de la vue du soleil. Si, au contraire, en 1783, la même tache se montra très-petite, c'était à une époque où, depuis plus de huit mois, le soleil dardait ses rayons d'une manière continue sur le pôle sud de Mars. La tache boréale offrit aussi des variations de grandeur absolues, étroitement liées avec la position du soleil relativement à l'équateur de la planète. »

Phénomènes météorologiques sur Vénus. — Vénus montre des nuages irrégulièrement entraînés par des courants atmosphériques. On a cru y reconnaître des aurores polaires [1].

Phénomènes météorologiques sur le soleil. — Passant au soleil, on pourrait s'attendre à ne pas y rencontrer de phénomènes comparables à ceux qui viennent de nous occuper; car le soleil n'est pas, comme la terre et les autres planètes, soumis à l'action d'une force extérieure capable d'y déterminer des mouvements en échauffant de préférence les

[1] *Le Soleil*, p. 315.

régions équatoriales. Mais, suivant la remarque du P. Secchi, il n'est pas impossible que le même résultat soit produit par une cause tout intérieure, et de fait on a constaté que la température est plus élevée à l'équateur du soleil qu'à ses pôles.

M. Faye, dans un très-important mémoire[1], a étudié les mouvements intestins du soleil au point de vue de la formation et de l'entretien de la photosphère; nous croyons devoir emprunter à ce travail de véritable météorologie quelques-uns de ses passages les plus caractéristiques.

Comme le fait remarquer l'auteur, une masse gazeuse, portée primitivement à une température supérieure à toutes les affinités chimiques, ne peut être incandescente, à cause du peu de lumière qu'émettent les vapeurs ou les gaz, même très-fortement chauffés. Le refroidissement marche donc avec lenteur, mais il doit arriver un moment où la température des couches superficielles tombe au point où les actions chimiques commencent à se produire. Aussitôt apparaissent certaines combinaisons : les unes produisant des gaz ou des vapeurs nouvelles tout aussi peu lumineuses que les vapeurs élémentaires, les autres donnant lieu à des nuages de particules liquides ou

[1] *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 196 et 229.

même solides dont l'incandescence sera, au contraire, très-vive. Ces particules, après avoir abondamment rayonné la chaleur et la lumière, doivent retomber, en vertu de leur densité plus forte, dans les couches inférieures, où elles finissent par retrouver une température capable de les réduire de nouveau dans leurs éléments primitifs. Cette décomposition absorbe une grande quantité de chaleur, et propage le refroidissement superficiel jusqu'aux couches profondes. Les gaz ainsi refroidis dans l'intérieur de la masse rompent l'équilibre des couches, et provoquent, à leur tour, l'ascension d'une nouvelle quantité de vapeurs élémentaires. Celles-ci remontent jusqu'à la surface, où elles subissent de nouveau les phénomènes qu'on vient de décrire.

« De cette manière, dit M. Faye, le refroidissement intérieur ne s'opère pas seulement, comme dans les solides ou les liquides pâteux, par voie de conductibilité d'une couche à l'autre, ce qui rendrait incompréhensible l'immense durée et l'éclat persistant du soleil; c'est la masse entière qui coopère à la radiation superficielle par un échange permanent de courants ascendants de vapeurs très-chaudes mais peu brillantes, et de courants descendants dont les particules incandescentes ont dégagé beaucoup de chaleur et de lumière. »

Parmi les travaux entrepris sur les mouvements dont l'atmosphère solaire est le siége, et qui confirment la théorie précédente, nous devons citer d'une manière spéciale, à cause de leur caractère de précision, ceux dont on est redevable à M. Sonrel [1]. Ce patient observateur a constaté directement, dans l'atmosphère de l'astre central, d'énormes différences de température, des condensations de vapeur retournant ensuite à l'état gazeux, des mouvements horizontaux et verticaux plus ou moins réguliers des diverses parties de la masse; c'est-à-dire un grand nombre des phénomènes qui se passent dans notre atmosphère; et il assimile les taches à des cyclones qui offrent avec les nôtres les plus grandes analogies.

C'est ici qu'il faut mentionner les résultats prismatiques obtenus en Amérique pendant une des dernières éclipses de soleil, et d'où l'on a conclu que la couronne offre de très-grandes ressemblances avec les aurores polaires. Ce fait, toutefois, demande à être confirmé, et son importance engagera certainement les astronomes à l'étudier lors des prochaines éclipses.

[1] *Comptes rendus*, t. LXIX, p. 527 et 559.

RÉSUMÉ DE CE CHAPITRE.

On voit, en résumé, que les phénomènes géologiques et météorologiques que nous arrivons dès à présent à constater dans les astres, sont tous comparables à ceux qui se développent sur la terre, et qu'ils n'en diffèrent guère que par l'échelle sur laquelle ils se manifestent ou par la phase plus ou moins avancée à laquelle ils sont parvenus. Suivant l'expression de M. Sonrel, les conditions différentes des divers astres impriment à ces phénomènes des cachets particuliers, mais leurs caractères généraux sont les mêmes, au point que l'étude d'un de ces phénomènes sur un astre, facilite l'étude du même phénomène sur un autre astre. Éclatante confirmation apportée à la conclusion du précédent chapitre, savoir que les corps célestes de notre système présentent un même plan d'organisation; d'où suit qu'ils doivent avoir une origine commune.

CHAPITRE III.

LIAISON DES PARTIES DU SYSTÈME SOLAIRE.

Les parties diverses de l'univers physique, si analogues entre elles, au double point de vue de leur constitution et des phénomènes dont elles sont le siége, sont, en outre, en relations plus ou moins immédiates les unes avec les autres. Ces relations sont de deux natures principales : elles consistent les unes en des échanges de radiations, les autres en des apports de matière pondérable.

ÉCHANGE DE RADIATIONS.

Pour expliquer que la lumière, la chaleur et les

autres forces physiques, qui, comme elles, ne sont que des mouvements ondulatoires de l'éther, se propagent d'un astre à un autre, il faut bien admettre, de toute nécessité, que les corps célestes sont plongés dans un même fluide universel, qui n'est autre que l'*éther* des physiciens.

Hypothèse du milieu résistant. — Allant plus loin, certains astronomes ont voulu douer ce fluide de qualités matérielles, et en faire un corps pesant et résistant. Ils y étaient conduits surtout par ce fait que divers corps célestes offrent dans leurs allures des inégalités dont ne saurait rendre compte l'hypothèse pure et simple de l'attraction newtonienne.

Ainsi, l'étude de la comète découverte en 1818 par Pons, amena M. Encke à reconnaître sur cet astre, qu'il identifia avec une comète déjà observée en 1786, en 1795 et en 1805, l'action d'une cause non signalée jusque-là. Il reconnut à chaque retour un retard considérable, constant pour chaque période, et crut l'expliquer en recourant à l'antique supposition d'un milieu résistant qui remplirait tout l'espace et agirait tangentiellement sur le mobile. Cette explication trouva beaucoup d'adhérents, et tout récemment encore un savant membre de la Société royale de Londres, M. Balfour Stewart, a tenté de prouver expérimentalement l'existence d'un

éther matériel[1]. Toutefois, quelques astronomes protestèrent, et la question est d'un trop vif intérêt, au point de vue où nous sommes placés, pour que nous ne nous y arrêtions pas un moment.

Voici l'objection que l'on oppose à l'hypothèse de M. Encke : on ne peut supposer l'existence d'un milieu résistant, sans admettre en même temps qu'il tourne autour du soleil en vertu des lois de Kepler, et que sa densité est d'autant plus grande que l'on considère une couche plus voisine de l'astre central. C'est en faire une sorte d'atmosphère de celui-ci, et on aurait dû, semble-t-il, renoncer à cette supposition à partir du jour où Laplace fit connaître les limites étroites que la mécanique impose aux atmosphères des corps célestes.

De plus, l'étude des mouvements de différentes comètes montre qu'il faudrait faire varier la densité de ce milieu suivant des lois différentes pour chaque cas. La comète d'Encke exige que cette densité aille en décroissant rapidement à partir de l'orbite de Mercure, où se trouve le périhélie de la comète; mais la comète de Faye exige à son tour, non moins impérieusement, que la densité de cet anneau soit très-notable dans la région de l'orbite de Mars et

[1] *Revue des Cours scientifiques*, t. III, p. 649.

décroisse rapidement ensuite de manière à être insensible bien avant l'orbite de Jupiter, car c'est entre ces deux orbites que s'accomplissent les mouvements de cette comète remarquable.

Ces conditions ne peuvent guère se concilier qu'en adoptant pour le milieu résistant l'hypothèse d'une série d'anneaux cosmiques, plus ou moins semblables aux anneaux de Saturne, mais séparés les uns des autres. Il y aurait ainsi, de par la comète d'Encke, un de ces anneaux dans la région de Mercure, et cet anneau s'étendrait vers l'orbite de Vénus, mais sans y atteindre; autrement, la comète de Halley, qui est rétrograde, en éprouverait des effets très-marqués. On peut croire aussi que la région où se meut la terre doit être exempte de ces anneaux cosmiques, car la comète de Biela, dont la distance périhélie est 0,9, n'a pas présenté jusqu'ici d'accélération sensible. Enfin, il y aurait un second anneau en dehors de l'orbite de la terre, présentant une densité notable dans la région de Mars, et allant en décroissant avec une rapidité telle qu'il s'évanouirait bien avant l'orbite de Jupiter. Mais il faut bien reconnaître que rien n'est plus indéterminé qu'une pareille hypothèse, car le nombre des anneaux, leurs limites respectives et la loi de leur densité intérieure restent complétement arbitraires. Aussi Bessel, préoccupé surtout de la

formation et de la situation des queues des comètes, rejeta-t-il l'idée d'Encke et supposa-t-il l'exercice des forces polaires qui émaneraient du soleil suivant les rayons vecteurs. Son contradicteur n'eut pas grand' peine à démontrer l'impossibilité d'une pareille conception.

Hypothèse d'une force répulsive émanant du soleil. — C'est dans cet état qu'étaient les choses quand un de nos astronomes les plus renommés, M. Faye, entreprit une nouvelle étude de la question [1]. Il se dit : « Le milieu résistant d'Encke est physiquement impossible; le jeu des forces polaires imaginé par Bessel, en vue d'un seul fait, arbitrairement généralisé, est encore moins admissible : il y a là deux termes, au lieu de raisonner sur l'un d'eux pris à part, il faut les comparer. »

En conséquence, il constata que les deux forces, réelles ou apparentes, qui agissent sur les comètes sont toutes deux répulsives. Leur composante tombe toujours à gauche du soleil, et non sur lui, ce qui montre que la force ne se propage pas instantanément, cas dans lequel elle serait dirigée suivant le rayon vecteur. Il résulte de là que toute force répulsive

[1] *Comptes rendus*, t. L, p. 68, 352, 703, 894 et 964; t. LII, p. 370; t. LIII, p. 173 et 253.

exercée par le soleil, et douée d'une propagation successive, comme ses radiations lumineuses ou calorifiques, fournirait les deux composantes, l'une radiale, l'autre tangentielle, dont on a besoin pour expliquer à la fois la figure et le mouvement des comètes.

Ce point de départ admis, le savant auteur arrive à donner la formule astronomique de son idée : une force répulsive s'exerçant à toutes distances, mais s'affaiblissant évidemment avec rapidité quand la distance augmente : due à l'incandescence de la surface solaire; se propageant successivement avec une vitesse comparable à celle des radiations calorifiques; proportionnelle aux surfaces, et non aux masses; enfin, s'épuisant sur les corps qu'elle repousse au lieu de s'exercer à travers toute matière, comme l'attraction.

Il appuie son hypothèse de nombreuses observations astronomiques, et leur donne même, et d'une manière très-ingénieuse, la consécration de l'expérience. Il approche de l'arc lumineux produit dans l'œuf électrique, et comparable à certains égards à la matière cométaire, une surface de métal chauffée au rouge, et qui représente le soleil : immédiatement on voit la lumière stratifiée subir un mouvement très-net de répulsion.

On remarquera l'analogie de ce résultat avec ceux

que M. Boutigny a obtenus si élégamment, en plongeant dans l'eau froide une amande de platine portée au rouge blanc[1] : le liquide s'écarte du métal, et laisse autour de celui-ci une gaîne vide de matière. Et cette remarque conduira à rattacher les phénomènes cométaires, comme ceux de l'état sphéroïdal, à la capillarité, dont le nom devient dès lors quelque peu impropre. L'important est d'ailleurs d'avoir montré que rien ne justifie dès à présent l'hypothèse du milieu résistant remplissant l'espace entre les corps célestes.

Quoi qu'il en soit, nous en tenant maintenant à l'observation des phénomènes, nous allons résumer les faits principaux relatifs à l'échange des radiations entre les astres. Ces radiations étant modifiées, et par la nature de la source d'où elles émanent et par les conditions du corps qui les reçoit, il en résulte une très-grande variété d'effets.

§ 1. — Influence du soleil.

Chaleur et lumière solaires dans les planètes. — Ainsi, rien que par suite de leurs inégales distances

[1] *Études sur les Corps à l'état sphéroïdal ; nouvelle branche de physique*, par M. P.-H. Boutigny (d'Évreux), troisième édition, p. 41 ; 1857.

au centre de notre système, les diverses planètes reçoivent du soleil des quantités différentes de chaleur et de lumière.

A la surface du globe terrestre, l'intensité des radiations solaires, lumineuses et calorifiques, a une valeur totale, qu'il a été possible de calculer. M. Pouillet a trouvé qu'à la distance moyenne du soleil à la terre la quantité de chaleur que celle-ci reçoit par minute et par mètre carré de surface est de 17,633 calories : on trouve pour la sphère entière un nombre de calories égale à 4,847 suivi de 25 zéros. Relativement à la lumière, on arrive à des évaluations du même genre : d'après Wollaston, cette lumière équivaut à celle que répandrait à un mètre de distance (si l'expérience n'était pas d'une impossibilité absolue) l'ensemble de 59,882 bougies.

Cela posé, et d'après les lois bien connues de la propagation de la lumière et de la chaleur, on trouve que les nombres obtenus pour la terre doivent, dans chacune des autres planètes, être multipliés par les nombres suivants :

dans Mercure par........	6,67
dans Vénus.............	1,91
dans Mars...............	0,43
dans Jupiter............	0,037
dans Saturne............	0,011

dans Uranus par......... 0,003
dans Neptune........... 0,001

Les résultats sont évidemment très-différents, mais il ne faudrait pas s'en rapporter seulement aux nombres qui précèdent pour juger des climats relatifs des planètes. Nous avons déjà dit que pour une égale quantité de chaleur et de lumière les températures définitives pourraient être considérablement modifiées par les propriétés des enveloppes gazeuses des planètes; suivant les obstacles plus ou moins considérables que ces enveloppes opposeraient à la déperdition de la chaleur, etc.

Rôle géologique et biologique de la radiation solaire. — Le rôle terrestre de la radiation solaire est d'une importance maîtresse : c'est à elle que doivent leur origine les phénomènes géologiques superficiels, et surtout les phénomènes biologiques.

Comme le fait remarquer M. Helmholtz[1] « toute force à laquelle nous devons notre vie et nos mouvements nous vient uniquement du soleil ». Les aliments dont nous nous nourrissons, le combustible qui fait marcher nos machines sont, au propre, le

[1] *Mémoire sur la conservation de la force, précédé d'un exposé élémentaire de la transformation des forces naturelles,* par M. Helmholtz; traduit par Louis Pierard, p. 47; 1869.

produit de la condensation des rayons solaires et par conséquent de l'emmagasinage de la chaleur du soleil.

Action électrique du soleil. — La radiation solaire paraît d'ailleurs agir autrement que par sa seule chaleur et sa seule lumière. Elle donne lieu par exemple à des phénomènes électriques, parmi lesquels nous citerons ceux que M. Sanna Solaro a décrits [1]. On fixe à la partie supérieure d'un récipient en verre, bien sec et hermétiquement fermé, un fil de cocon auquel on a suspendu horizontalement une légère aiguille de cuivre; puis on expose l'appareil à l'influence solaire. Lorsque la journée est belle, calme, sans nuages et sans vapeurs sensibles, l'aiguille, d'abord immobile, se met en mouvement aussitôt que le premier rayon vient à le frapper : elle se dirige tranquillement vers l'astre et le suit dans sa marche. Si alors un léger voile de vapeurs vient à s'interposer entre l'astre et l'appareil, l'aiguille abandonne brusquement sa position. D'après l'auteur, ces mouvements, dont il a reconnu la nature électrique, et qu'il a étudiés avec soin, ne sont pas déterminés par la chaleur, car, dans les jours simplement voilés, ces signes électriques n'ont pas lieu, quoique le soleil soit parfois

[1] *Comptes rendus*, t. LVI, p. 1035 et 1207.

plus chaud que lorsqu'ils se manifestent. Ils ne dérivent pas non plus de l'électricité atmosphérique, car l'aiguille est inébranlable pendant les jours les plus orageux [1].

Action magnétique du soleil. — Cette conséquence est confirmée par l'action évidente, et bien des fois constatée, des rayons solaires sur l'aiguille aimantée. Déjà, en 1826, madame de Sommerville signalait [2] le pouvoir magnétique de la partie violette du spectre; depuis cette époque les observations se sont rapidement multipliées. Par exemple, dans des expériences très-simples, M. Jacobæus (de Copenhague) [3] a mis en évidence des mouvements imprimés à l'aiguille aimantée par l'influence subite de la lumière du soleil.

Ce physicien reconnut, par hasard, que chaque fois qu'un nuage, le ciel étant découvert, passait sur la face du soleil, une aiguille aimantée, qui en recevait alors subitement l'ombre, subissait une forte oscillation, et il étudia de plus près les conditions du phénomène. Le résultat fut que si l'aiguille aimantée est suspendue horizontalement dans une

[1] V. à cette occasion, un mémoire de M. Becquerel sur l'origine céleste de l'électricité atmosphérique dans les *Comptes rendus*, t. LXXII, p. 709.

[2] *Annales de Chimie*, t. XXXI, p. 393; 1826.

[3] *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 733.

chambre obscure, et si on laisse arriver tout à coup le rayon lumineux successivement sur ses deux extrémités, l'une des pointes est attirée, l'autre repoussée, exactement comme sous l'influence d'un aimant dont on présente successivement le même pôle aux deux extrémités de l'aiguille.

Influence des taches sur la radiation solaire. — Le P. Secchi ayant reconnu, de son côté, que la période décennale des taches solaires coïncide d'une manière très-inattendue avec la variation de la force magnétique terrestre, il pense qu'on doit attribuer cette action magnétique de notre astre central à ce que celui-ci serait environné de courants, agissant à distance comme de véritables aimants. Il se fonde principalement sur ce que la période décennale des variations diurnes de l'aiguille aimantée a une relation certaine avec les aurores boréales, et que la valeur absolue des variations dépend, d'une manière incontestable, du nombre de ces aurores. Celles-ci sont, sans aucun doute, des phénomènes météorologiques produits par l'électricité transportée de l'équateur aux pôles, à travers les régions supérieures de l'atmosphère, mais, selon l'astronome romain, les oscillations de la température agiraient d'une manière indirecte sur le magnétisme, en modifiant l'état électrique du globe par l'intermédiaire des vapeurs. Toutefois, comme l'au-

teur le reconnaît lui-même, on ne saurait, dans l'état actuel de la science, trouver avec certitude le lien qui relie ces variations électriques avec celles des taches : sans doute la formation d'une tache doit être accompagnée de phénomènes électriques, mais nous ne saurions imaginer comment ces phénomènes peuvent agir sur nos aiguilles aimantées. Quant aux aurores polaires, que l'on voit quelquefois apparaître simultanément dans les deux hémisphères, elles ne coïncident presque jamais d'une manière rigoureuse avec l'apparition individuelle des taches, et si cette coïncidence se présente quelquefois, on ne doit pas y attacher beaucoup d'importance, car nous ne pouvons pas constater le moment où se forment les taches qui prennent naissance dans l'hémisphère du soleil opposé à celui que nous voyons. On ne peut donc pas établir entre ces deux ordres de phénomènes une relation de cause à effet [1].

Du reste, et comme on pouvait s'y attendre, il paraît bien que l'état de la surface solaire a une influence sur la température que nous éprouvons [2], et qu'il existe des relations entre cette température et le nombre des taches ; mais c'est là un sujet qui

[1] *Comptes rendus*, t. LXII, p. 210. V. aussi une note de M. Wolff. Id., t. XXXV, p. 364.
[2] *Ibid.*, t. XIV, p. 135.

est loin d'être complétement étudié, ce qui tient en partie à sa très-grande complication.

§ 2. — **Influence de la lumière zodiacale.**

Le soleil est le plus puissant centre de rayonnement sous l'influence duquel nous soyons ; mais il n'est pas le seul. Tous les astres nous envoient des effluves variées, insensibles le plus souvent, à l'exception de la lumière, à cause du grand affaiblissement que leur inflige la distance. Certains corps célestes se bornent d'ailleurs à modifier simplement la nature ou l'intensité des radiations solaires.

Action de la lumière zodiacale sur la température terrestre. — Pour parler d'abord des régions de l'espace voisines du soleil, la lumière zodiacale paraît émettre de la chaleur en même temps que de la lumière : ce fait résulte des expériences faites par M. Matthiesen à l'aide d'une très-délicate pile thermo-électrique [1]. Plus récemment M. Galliard a appelé l'attention sur la relation qui paraît exister entre les oscillations de la température et les variations de la lumière zodiacale [2].

[1] *Comptes rendus*, t. XVI, p. 586.
[2] *Ibid.*, t. LXVIII, p. 807. — V. la note de M. Faye. Id., p. 808.

En 1868 une extrême chaleur a coïncidé à la Guadeloupe avec une absence presque totale de ce phénomène. La lumière zodiacale, si brillante en 1867 que, même dans les premiers jours après la nouvelle lune, elle s'apercevait très-nettement, se distinguait à peine en 1868 du rayonnement stellaire. A partir du mois de décembre 1868 elle commença à reparaître avec assez d'éclat, mais sans atteindre encore, au mois de mars 1869, à la splendide beauté de 1867. « J'avais depuis longtemps, dit M. Galliard, remarqué les intermittences de cette lumière, mais j'ai eu le malheur de ne pas tenir compte des époques de diminution et d'augmentation d'éclat qui eussent pu donner une idée de la période de rotation. Je suis persuadé que le plus ou moins d'épaisseur de cette enveloppe solaire est une des principales causes des variations de la température annuelle [1]. »

§ 3. — Influence des étoiles filantes.

Action des étoiles filantes sur la température. — Dès 1840 M. Erdmann (de Berlin) pensait reconnaître une liaison entre la température terrestre et les appa-

[1] V. une nouvelle note du même auteur sur le même sujet, *Comptes rendus, etc.*, t. LXXIII, p. 517.

ritions d'étoiles filantes. « Les deux essaims ou courants d'astéroïdes que nous rencontrons dit-il [1], sur l'écliptique, respectivement vers le 10 août et vers le 13 novembre ou, en d'autres termes, par 316°5 à 318°5 de latitude et par 50 à 51 degrés de longitude héliocentrique, s'interposent annuellement entre la terre et le soleil, le premier en des jours compris entre le 5 et le 11 février, le second du 10 au 13 mai. Chacune de ces conjonctions opère annuellement dans les dites époques une extinction très-notable de rayons calorifiques du soleil et par là fait baisser la température dans tous les points de la surface du globe. »

Ce sujet a été repris par feu M. Petit, directeur de l'observatoire de Toulouse [2] et dans ces dernières années par M. Charles Sainte-Claire-Deville. Tout en reconnaissant, avec Petit, que le phénomène n'est pas aussi simple que l'avait cru M. Erdmann, M. Deville conclut [3], en s'appuyant principalement sur les observations de Coulvier-Gravier [4], qu'en effet c'est bien au passage de la terre dans le voisinage des groupes d'étoiles filantes que se rattachent les remarquables

[1] *Annales de Chimie et de physique*, t. LXXIII, p. 315.
[2] *Comptes rendus*, t. XIX, p. 626.
[3] *Ibid.*, t. LX, p. 577.
[4] V. les *Recherches sur les Météores et les lois qui les régissent*; par M. Coulvier-Gravier, 1859.

oscillations périodiques de température que l'on observe en février et en mai.

§ 4. — Influence de la lune.

Marées océaniques et aériennes. — La lune a sur notre planète des influences variées. Les plus marquées se rapportent aux marées, c'est-à-dire aux balancements que les enveloppes liquides et gazeuses de notre globe éprouvent à des intervalles réguliers. Toutes les molécules matérielles dont l'ensemble constitue le globe lunaire attirent à la fois toutes les molécules composant le sphéroïde terrestre, et contrebalancent ainsi, dans une certaine mesure, leur propre pesanteur : grâce à leur fluidité et à leur indépendance, les molécules gazeuses et liquides s'élèvent sous l'influence de l'attraction lunaire, et la nappe liquide de l'océan s'allonge, se tuméfie du côté de la lune. Il en est de même de la nappe gazeuse qui entoure la terre, et dont on apprécie les marées d'après les oscillations du baromètre. Si la terre n'avait pas de mouvement propre, la marée serait permanente et les eaux conserveraient leur équilibre, que viendraient seules troubler les influences purement météorologiques. Mais la terre en tournant, présente à la lune toute sa périphérie et l'onde marine se promène ainsi

sur l'océan suivant le parallèle qui correspond à la position de notre satellite. Sur l'hémisphère opposé les mêmes phénomènes ont lieu simultanément, la nappe liquide est allongée à l'opposé de la lune, les molécules plus distantes, et par conséquent moins attirées, restant en arrière; de sorte qu'un effet tout semblable est dû à des circonstances contraires.

Marées souterraines; tremblements de terre. — Suivant quelques savants, la lune ne produit pas seulement des marées océaniques et atmosphériques, mais encore des marées souterraines. Le noyau de la terre étant, selon toute probabilité, à l'état liquide, serait périodiquement soulevé par l'attraction lunaire, et cette masse d'une grande densité, venant à heurter la croûte solide, produirait la plupart des tremblements de terre.

Des recherches statistiques ont été faites dans le but de contrôler l'exactitude de cette théorie, et leur auteur, M. Alexis Perrey, de la Faculté des sciences de Dijon, a cru trouver[1] dans la fréquence des phénomènes séismiques une périodicité qui serait en rapport avec les périodes du mouvement de la lune.

Radiations lumineuses, calorifiques et magnétiques de

[1] *Recherches historiques sur les tremblements de terre*, par M. Alexis Perrey (1841). — V. aussi les *Mémoires couronnés et publiés par l'Académie royale des sciences de Bruxelles*, t. XVIII (1845).

la lune. — Outre l'action qu'elle exerce par sa masse, la lune agit sur nous par sa lumière et, ce qui a été longtemps nié, par la chaleur qu'elle reçoit du soleil et qu'elle réfléchit. De plus il paraît démontré, suivant l'expression du P. Secchi [1], que notre satellite possède encore une influence faible, il est vrai, mais incontestable sur l'aiguille aimantée.

§ 5. — Influence des planètes.

Il n'est pas douteux que les astres exercent les uns sur les autres des actions du genre de celles que la terre éprouve. Et par exemple, le phénomène connu sous le nom de *lumière cendrée* montre bien que la lune reçoit de la terre beaucoup de radiations lumineuses. Toutefois, jusqu'à présent les faits de cet ordre sont fort rares.

Action de Jupiter et de Vénus sur les taches solaires. — Il faut se borner à peu près à rappeler que MM. Waren de la Rue, Balfour Stewart et Lœwy [2] ont cru remarquer que si Jupiter ou Vénus se trouve, à l'époque de son passage, sur le plan de l'équateur solaire, il en résulte un resserrement de la zone

[1] *Le Soleil,* p. 328.
[2] *Mounthly notices of the royal astronomical Society*, novembre 1866.

des taches vers l'équateur. Cette zone au contraire s'étend vers le pôle quand la planète s'éloigne du plan de l'équateur.

M. Wolff (de Zurich) pense, de son côté [1], que les variations de la distance de Jupiter et du soleil sont corrélatives des apparitions les plus riches de taches solaires. Peut-être la masse, relativement énorme, de la plus grosse des planètes, a-t-elle sur le soleil une influence comparable à celle de la masse lunaire sur les marées terrestres.

APPORT DE MATIÈRE PONDÉRABLE.

Comme on l'a vu, les étoiles filantes, qui sont identiques aux comètes, doivent, d'après les résultats de l'examen prismatique de celles-ci, être constituées par des gaz extrêmement raréfiés. La nature de ces gaz n'est pas complétement connue, mais il n'est pas vraisemblable, d'après leurs spectres, qu'ils soient identiques à ceux que renferme normalement notre atmosphère. Celle-ci doit donc être modifiée dans sa composition par ce tribut incessant : il est possible, du reste, que la matière légère ainsi acquise par notre planète reste dans les régions supé-

[1] *Le Soleil*, par A. Guillemin, p. 177 (1869).

rieures et forme une couche qui ne se mêle pas aux masses plus profondes de l'air; mais il est plus probable que le mélange a lieu et que ces gaz jouent un rôle autour de nous.

Les météorites nous apportent des matériaux plus facilement visibles, dont nous avons indiqué la nature, et qui ensemble ne laissent pas de faire un volume considérable.

Augmentation de la masse du globe par les étoiles filantes et les météorites. — On s'est demandé si cet apport de matière par les étoiles filantes et par les météorites, en augmentant évidemment la masse totale de notre globe, ne contribue pas pour une part à l'accélération séculaire du moyen mouvement de la lune.

M. Dufour, qui a émis cette idée ingénieuse[1], paraît en avoir exagéré beaucoup l'importance : le phénomène météoritique joue évidemment un rôle; mais il est complétement insuffisant pour expliquer l'accélération de notre satellite, et l'on doit voir évidemment dans cette accélération un effet dû à la superposition de causes nombreuses.

Entrée de la matière cosmique dans le cercle de la vie organique terrestre. — Une conséquence qu'on

[1] *Comptes rendus*, t. LXII, p. 840.

ne peut négliger, c'est l'entrée de la matière cosmique ainsi précipitée dans le cercle de la vie organique terrestre. Les météorites tombées sur le sol s'y altèrent peu à peu, et avec une rapidité qui dépend de leur nature. Elles peuvent alors fournir aux plantes qui croissent au point de chute une certaine quantité d'éléments assimilables qui parcourent dès lors le cycle si varié des transformations que l'on connaît.

M. de Reichenbach [1] n'hésitait pas à voir dans les étoiles filantes et dans les météorites l'origine du phosphore et de la magnésie que renferment les sols arables. Cette supposition lui avait été suggérée par la découverte constante du nickel et du cobalt dans les terrains superficiels, et par l'idée, d'ailleurs reconnue fausse aujourd'hui, que les étoiles filantes seraient des météorites d'une faible masse, ou pour mieux dire réduites en poussière. Il monta un jour sur le Lahisberg, en Autriche, qui est une montagne conique, haute de 300 à 400 mètres et couverte à son sommet d'un bois de hêtres. Il pénétra dans le taillis, y choisit un endroit que probablement le pied de l'homme n'avait jamais foulé, et ramassa quelques poignées de terre qu'il soumit à l'analyse. Il y

[1] *Année scientifique* par M. Figuier, t. X, p. 401 (1866).

trouva des traces de cobalt et de nickel. Des échantillons pris sur le Haindelberg, sur le Kallenberg et sur le Dreymarckstinberg, montagnes voisines de la première, conduisirent aux mêmes résultats, et l'analyse du sol de la plaine appelée le Marchfeld, révéla également les traces du nickel. Ces faits sont d'autant plus significatifs que le massif de montagnes qui vient d'être cité est composé de grès et de calcaire où l'on n'a jamais trouvé le moindre filon métallique.

Influence possible de l'arrivée des fers météoriques sur l'histoire de l'homme. — Nous ne pouvons quitter ce sujet sans rechercher si les apports de matière qui nous occupent n'ont pas eu quelque influence sur le développement social de l'homme.

On sait qu'aujourd'hui encore le fer météorique est travaillé et employé. Ainsi, M. Lubbock dit des Esquimaux [1] : « Quelques-uns de ces indigènes brisent aussi des fragments d'aérolithe de fer qu'ils aiguisent à coups de marteau et fixent ensuite dans un manche de corne ou d'os. » Ajoutons que la collection de météorites du Muséum d'histoire naturelle possède une petite hachette en fer météorique travaillée par les Esquimaux. Pallas raconte égale-

[1] *L'homme avant l'histoire*, par J. Lubbock, 1867 p. 409.

ment que certaines tribus sibériennes font des lames de couteau avec le fer qu'elles détachent des aérolithes. « Cette pratique, écrit M. J. Fournet [1], fut également rencontrée en Laponie. Enfin, Améric Vespuce raconte que les Indiens de l'embouchure de la Plata, fabriquaient des flèches ou autres instruments avec des morceaux provenant de masses probablement tombées du ciel. » Même chez les peuples civilisés le fer météorique a été quelquefois forgé : Bolivar, suivant le récit de M. Boussingault [2], avait une épée d'honneur faite en métal céleste. On dit que l'empereur de Russie en a une semblable. Enfin, et sans vouloir épuiser le sujet, nous rappellerons d'après Bigot de Morogues [3] que dans ses *Mémoires* traduits en anglais, D'Gehan-Guir, empereur du Mogol, raconte avoir fait fabriquer deux sabres, un couteau et un poignard avec un fer du poids de deux kilogrammes et demi qui, vers la fin de l'année 1620, tomba à 100 milles environ de Lahore.

Ce que font des sauvages contemporains, les peu-

[1] *De l'influence du mineur sur les progrès de la civilisation, d'après les données actuelles de l'archéologie et de la géologie*, par J. Fournet, p. 89, (1861).

[2] Voyez le *Cosmos* de 1867.

[3] *Mémoire historique et physique sur les chutes des pierres tombées sur la surface de la terre à diverses époques*, par M. P.-M.-S. Bigot de Morogues, p. 75 (1812).

plades antéhistoriques ont dû également le faire. Les traditions du reste en témoignent. C'est sans doute donner une interprétation plausible de l'anecdote mythologique qui nous montre le maître des dieux envoyant un secours de flèches aux combattants qu'il veut favoriser, que d'y voir l'indication de ce fait que des masses métalliques tombées des nues, avec accompagnement d'éclairs et de tonnerre, ont été employées à faire des flèches. La fable qui représente les cyclopes forgeant la foudre témoigne également de l'emploi primitif du fer météorique; par cela seul, en effet, que le métal céleste, si inévitablement identifié avec la foudre, est considéré comme un produit de la forge, il est évident qu'on savait qu'il pouvait être forgé. Des forgerons, mettant en œuvre des fers tombés d'en haut, auront donné lieu à cette fable, et l'origine céleste des premiers matériaux de leur industrie peut n'être pas étrangère au caractère sacré que les traditions nous montrent avoir appartenu à l'origine aux ouvriers qui travaillaient le fer.

Quand, à l'appel de la science, surgissent de toutes parts les témoins innombrables de ces temps primitifs qu'on croyait n'avoir pas laissé de traces, il se peut qu'un contrôle expérimental ne fasse pas longtemps défaut aux suppositions qu'on vient de for-

muler, et nous nous permettrons de signaler comme un sujet d'étude plein d'intérêt la recherche du nickel et du phosphore dans les armes et ustensiles des premiers temps du fer. A peine est-il nécessaire de faire remarquer que, le fer ouvré paraissant avoir été importé en Europe, ce que nous appelons les premiers temps du fer peut être fort antérieur à l'époque aujourd'hui qualifiée de premier âge du fer par les archéologues et les anthropologistes européens.

Si ces vues étaient fondées, comment ne pas voir un fait providentiel dans la disposition en vertu de laquelle le fer natif, et par conséquent utilisable sans extraction préalable, descendant du ciel sur la terre, où le même métal n'existe qu'à l'état de combinaisons, tombe à point nommé aux pieds de l'homme encore inexpert en métallurgie? Il est vrai que M. Fournet, dont les opinions en cette matière sont d'un si grand poids, se refusait à voir dans l'arrivée du métal météoritique l'une des origines possibles de l'art de fabriquer le fer; mais on doit avouer que le savant géologue en donnait des raisons bien peu démonstratives : « Évidemment, disait-il, ces blocs sont trop accidentels et ils se sont trouvés trop écartés des centres de civilisation pour avoir pu mettre sur la voie de l'extraction du métal [1]. »

[1] *De l'influence du mineur*, p. 90.

Il nous paraît que des armes forgées avec la matière céleste s'étant oxydées, on aura pu être frappé de l'identité du produit de cette altération avec certaines roches terrestres; de là à chercher le fer dans celles-ci il n'y avait plus qu'un pas. Ce qui ne veut pas dire que l'art métallurgique n'ait pu, selon la variété des lieux et des temps, avoir aussi des origines toutes différentes de celles-là; qu'il n'ait pu, par exemple, prendre naissance, comme on l'a dit, dans l'incendie de houillères renfermant de la *sidérose*, et qu'en Crète il n'ait été révélé aux Dactyles, comme le raconte la légende, par le spectacle du minerai en fusion au milieu des forêts du mont Ida, embrasées par le feu du ciel.

Hypothèse météorique de l'entretien de la chaleur solaire. — Rien n'autorise à penser que la terre ait le privilége exclusif des chutes d'étoiles filantes et de météorites. Pour les étoiles filantes, la situation des orbites cométaires, par rapport à celle des orbites planétaires, prouve jusqu'à l'évidence qu'il doit en tomber sur les divers globes de notre système. Pour les météorites, la chose est beaucoup moins sûre, mais, étant admise touchant leur origine la théorie qui sera développée plus loin, l'analogie porte à penser qu'il en existe au moins dans le voisinage des planètes les plus semblables à la nôtre.

Le Dr Mayer (de Heilbronn), considérant la quantité de matière qui tombe annuellement sur la terre, sous forme de météorites et d'étoiles filantes, et la quantité de chaleur due à la transformation de leur force vive, a été conduit[1] à se demander si un phénomène semblable ne pourrait pas se produire dans le soleil, et il a cherché quelle masse de matière devrait être employée à compenser la diminution de force vive produite par la radiation.

Le point de départ de ces calculs peut se trouver dans des faits d'observation qui semblent en confirmer la justesse; car, en Angleterre, M. Hodginson et M. Carrington, dans deux observatoires différents, ayant vu au même instant une lumière très-vive se développer en un point du soleil très-voisin d'une tache, attribuèrent ce phénomène à la chute d'un météore et à la chaleur qui en était la conséquence.

Toutefois, et malgré les perfectionnements apportés à cette théorie par M. Thomson, on y a généralement renoncé. Les principales objections qu'on y a faites ont pour auteur M. Faye, qui a montré[2] l'incompatibilité de ces effluves matérielles avec les délicates particularités de la surface solaire.

[1] *Mekanic des Himmel*, par le Dr Mayer.
[2] *Comptes rendus*, t. LV, p. 564.

Aujourd'hui, on est bien plus disposé à chercher l'entretien de la chaleur du soleil dans la cause même de sa formation, c'est-à-dire dans le simple fait de la contraction spontanée de l'astre par suite de son refroidissement. Nous verrons que les astronomes pensent que notre système résulte de la condensation d'une nébuleuse; or la masse qui le constitue, en la supposant diffusée seulement jusqu'à l'orbite de Neptune, se présenterait dans un état de raréfaction comparable à celui que produisent nos meilleures machines pneumatiques. Si nous admettons qu'une pareille masse vienne à se condenser, en se précipitant sur un point central, nous pourrons parfaitement appliquer à ce cas la théorie de Mayer : le choc réciproque des molécules mettra toute la masse en vibration thermique et développera au centre une quantité très-considérable de chaleur. En tenant compte de la manière dont cette masse a dû être primitivement répartie à différentes distances du soleil, on a calculé que la quantité de chaleur développée de cette manière à dû élever la température de 500 millions de degrés. Telle aurait donc été la température initiale du globe solaire, et celle que nous observons aujourd'hui ne serait qu'un faible résidu de l'énorme quantité de chaleur due à la seule gravitation.

Comme le fait remarquer le P. Secchi [1], on doit sans doute rapporter à la même origine, c'est-à-dire à la contraction par refroidissement, la chaleur centrale des planètes et même, très-probablement, leur mouvement de translation.

Rôle des comètes dans les relations réciproques des astres. — Nous ne saurions terminer ce chapitre sans citer les comètes : ce sont de véritables agents de communication entre les divers systèmes planétaires, et il n'y a pas à douter qu'à ce point de vue leur étude ne nous réserve des découvertes importantes.

RÉSUMÉ DE LA PREMIÈRE PARTIE.

Quel que soit le nombre des faits exposés dans les trois chapitres qui précèdent, peu de mots suffiront pour les résumer. On a vu que le système solaire, étudié dans son ensemble, et du point de vue particulier à la géologie comparée, se divise en trois groupes d'astres caractérisés chacun par une constitution spéciale. Le spectroscope montre en effet que les uns sont de nature nébuleuse et pour ainsi

[1] *Le Soleil*, p. 288.

dire cométaire, les autres plutôt liquides et les derniers pourvus d'une croûte plus ou moins épaisse de matériaux solidifiés. Chacun de ces groupes correspondrait donc, toute proportion gardée, à l'une des trois enveloppes, gazeuse, liquide et solide du globe terrestre.

Le soleil représentant le noyau, encore à l'état de fusion ignée, que renferme notre planète, Neptune et Uranus répondent à l'atmosphère; Saturne et Jupiter à la masse liquide, et le reste, c'est-à-dire les astéroïdes, Mars, la terre, Vénus et Mercure, aux roches solides. Aussi, dans un travail récent, avons-nous conclu que l'on peut en quelque sorte faire une *coupe géologique du système solaire* tout entier. Témoignage nouveau de l'immuable unité qui gouverne ce système, au milieu même de la variété la plus grande : cette coupe a une ressemblance frappante avec celle que donne notre petit globe terrestre.

De l'examen méthodique des diverses parties du grand tout, nous tirons ainsi l'énoncé de trois lois qui constituent la base même de la géologie comparée, lois relatives, la première à l'*unité de constitution* du système solaire, la seconde à l'*unité des phénomènes* qui s'y produisent, la troisième à la *liaison* de ses différentes parties.

Grandioses par leur simplicité, elles sont fécondes en applications, et ce sont ces applications qui doivent maintenant nous occuper.

DEUXIÈME PARTIE.

DEUXIÈME PARTIE.

LES APPLICATIONS DE LA GÉOLOGIE COMPARÉE.

Il résulte des faits exposés dans la première partie de ce travail, que les mêmes éléments concourent à constituer les corps innombrables qui composent l'univers physique, et que dans tous ces corps on voit des forces évidemment identiques s'exercer suivant les mêmes lois.

Il découle d'abord de là, comme conclusion forcée, que tous les corps célestes ont la même origine. Comment autrement rendre compte de leur uniformité ? De façon qu'à ce point de vue la magistrale théorie cosmogonique de Laplace apparaît comme une simple application de la géologie comparée, et si cette théorie ne fût née d'un effort du

génie, elle eût pu résulter de l'observation des faits qui viennent de nous occuper.

Arrêtons-nous un moment sur ce sujet.

CHAPITRE PREMIER.

ORIGINE DU SYSTÈME SOLAIRE.

Laplace montre comment le système solaire tout entier a pu sortir d'une même nébuleuse originelle, douée d'une température initiale élevée, animée d'un mouvement de rotation sur elle-même et plongée au milieu de l'espace relativement très-froid.

Or, non-seulement les découvertes de la science confirment cette conception grandiose à laquelle un petit nombre de faits seulement, tels que l'inclinaison des orbites les unes sur les autres, le mouvement rétrograde de plusieurs satellites, etc., paraissent provisoirement se soustraire, mais encore ces découvertes autorisent à étendre la théorie en

question à toutes les parties de l'univers qui tombent sous nos sens.

Au commencement, une masse cosmique unique contenait, au moins, toute la matière représentée par la voie lactée et peut-être la substance de tout l'univers. Plongée dans l'espace glacé, cette masse se refroidit, des centres d'attraction se constituèrent dans son sein, autour desquels les diverses portions de la matière, maîtrisées par eux, se mirent à graviter. Ainsi s'opéra la segmentation de cette nébulosité mère, en parties dont chacune constitua une nébuleuse secondaire.

Segmentation des nébuleuses. — Les nébuleuses, si nombreuses dans le ciel, n'ont point encore donné aux hommes le spectacle de cette fissiparité colossale, ce qui doit tenir au peu de durée de nos observations relativement au temps qu'exige le phénomène, car diverses nébuleuses, par les changements qu'elles éprouvent, révèlent le travail de formation dont elles sont le siége.

On sait par exemple qu'Herschel, en comparant ses observations des années 1780 et 1783 à celles de l'année 1811, observations faites les unes et les autres avec les mêmes instruments, trouva que la forme de la nébuleuse d'Orion avait subi une altération. Plus récemment, le P. Secchi a apporté beaucoup

de précision dans ce genre d'étude [1]. Enfin, si nous n'avons pas vu de nébuleuses se fragmenter, l'état de scission plus ou moins avancé qu'on constate chez certaines d'entre elles donne un appui manifeste à la théorie que nous exposons.

Arago n'admet point que la pénurie de preuves directes où nous sommes encore sur ce sujet doive se faire sentir toujours à nos successeurs, et nous cédons au plaisir de citer ces lignes prophétiques qui lui sont dues : « Dans l'avenir, dit-il [2], il suffira d'un double coup d'œil jeté sur les nébuleuses de l'époque et sur les portraits admirables de délicatesse et de fidélité que les astronomes en font aujourd'hui, pour décider si le temps altère sensiblement les dimensions et les formes de ces groupes mystérieux; mais l'antiquité n'ayant laissé à cet égard aucun terme de comparaison, nous sommes réduits à attaquer le problème par des voies directes. Cependant, j'ai tout lieu d'espérer que la solution n'en paraîtra pas moins évidente. Les phénomènes que doit amener l'existence de divers centres d'attraction répandus sur toute l'étendue d'une seule et vaste nébuleuse se développeront dans cet ordre : çà

[1] *Comptes rendus, etc.*, t. LXV, p. 643, et t. LXVI, p. 63.
[2] *Astronomie populaire*

et là, la disparition de la lueur phosphorescente; la naissance de solutions de continuité, de déchirures dans le rideau lumineux primitif, résultat nécessaire du mouvement de la matière vers les centres attractifs; — l'agrandissement des déchirures, c'est-à-dire la transformation d'une nébuleuse unique en plusieurs nébuleuses distinctes, peu distantes les unes des autres et liées quelquefois par des filets de nébulosité très-déliés; — l'arrondissement du contour extérieur des nébuleuses séparées; une augmentation plus ou moins rapide de leur intensité en allant de la circonférence au centre; — la formation à ce centre d'un noyau très-apparent, soit par les dimensions, soit par l'éclat; — le passage de chaque noyau à l'état stellaire avec la persistance d'une légère nébulosité environnante; — enfin, la précipitation de cette dernière nébulosité, et pour résultat définitif autant d'étoiles qu'il y avait dans la nébuleuse de ces centres d'attraction distincts. »

Segmentation des comètes. — Un phénomène qu'on paraît fondé à rapprocher de la segmentation des nébuleuses a été observé plusieurs fois. Il s'agit de la division de certaines comètes en plusieurs parties.

L'exemple le plus connu est celui de la comète de Biela, dont la période est de 6 ans 3/4, et qui

en 1846 se divisa presque sous les yeux des observateurs. Suivant le récit de Humboldt [1], M. Hind avait remarqué dès le 19 décembre 1845, dans la comète encore intacte, une sorte de protubérance vers le nord; mais le 21, d'après l'observation de M. Encke, à Berlin, on n'apercevait aucun indice de séparation. La division, déjà effectuée fut reconnue, pour la première fois le 17 du même mois dans l'Amérique septentrionale, et en Europe vers le milieu et à la fin du mois de janvier 1846. Le nouvel astre, le plus petit des deux, précédait le plus grand dans la direction du nord. L'éclat de chacune des deux comètes était changeant, de sorte que le second astre, augmentant peu à peu d'intensité, surpassa quelque temps en lumière la comète principale. Les enveloppes nébuleuses qui entouraient chaque noyau n'avaient aucun contour déterminé; celle qui entourait la grande comète offrait un gonflement peu lumineux vers le sud-ouest, mais la partie du ciel qui les séparait fut notée par M. Struwe, à l'observatoire de Pulkowa, comme libre de toute nébulosité. Quelques jours plus tard, M. Maury aperçut, à Washington, des rayons que l'ancienne comète envoyait vers la nouvelle, de sorte que pendant

[1] *Cosmos*, t. III.

quelque temps il y eut une sorte de pont jeté de l'une à l'autre. Le 24 mars la petite comète, diminuant sensiblement d'éclat, n'était déjà presque plus reconnaissable. On vit encore la plus grande pendant quelque temps; mais le 20 avril elle avait disparu à son tour. Au moment de sa disparition le petit astre était à 62,000 lieues environ du grand; en 1852, quand le P. Secchi les revit, leur distance était à peu près de 500,000 lieues.

Cette division n'est pas un fait isolé : selon M. Benjamin Valz[1] deux comètes observées comme les précédentes en 1846, l'une par Vico et l'autre par Brorsen, représenteraient les deux parties d'une même comète originelle. On pourrait citer d'autres exemples, mais il convient de faire remarquer que, dans la nouvelle théorie de M. J. Tyndall, ces fractionnements, au moins dans certains cas, ne seraient que de simples apparences.

Formation des planètes et des satellites; expérience de M. Plateau. — Revenons à la nébuleuse primitive. Nous l'avons vue se diviser en groupes de second ordre; or les actions qui ont donné naissance à ceux-ci se répétèrent au sein de chacun d'eux. Chacun reproduisit la série de phénomènes qu'avait

[1] *Comptes rendus*, t. XXXV, p. 495.

offerts le tout; c'est-à-dire qu'il se fractionna à son tour, et ce fractionnement, poussé de degré en degré jusqu'à ses ultimes limites, donna enfin naissance, entre autres minuscules nébulosités, à celle qui originairement a renfermé la matière diffuse de tout notre système solaire.

C'est dans chacun de ces groupes de dernier ordre que se sont produites les transformations plus spécialement décrites par Laplace.

Animé à la fois, comme nous l'avons dit, d'un mouvement de rotation et, par l'effet du refroidissement, d'un mouvement de contraction vers le centre, l'amas gazeux d'où notre petit monde dérive, a successivement abandonné dans sa région équatoriale une série d'anneaux de plus en plus réduits qui, se contractant eux-mêmes, se sont transformés en planètes.

Rappelons l'élégant dispositif au moyen duquel l'ingénieux M. Plateau a procuré la confirmation de l'expérience à une théorie qu'on eût pu croire privée à jamais de ce contrôle. On commence par préparer un mélange d'eau et d'alcool, en proportions telles qu'il ait rigoureusement la densité de l'huile d'olive, puis on introduit au milieu de la masse une grosse goutte formée de ce liquide gras. Cette goutte perdant, en vertu d'un principe de phy-

sique bien connu, une partie de son poids égale au poids du liquide qu'elle déplace, se trouve, grâce à sa densité égale à celle du milieu qui l'entoure, soustraite complétement à l'action de la pesanteur. Comme la matière chaotique, qui se trouvait nécessairement dans les mêmes conditions, elle prend la forme d'une sphère parfaite.

Cette sphère est immobile, mais si on fait passer par son centre un axe vertical métallique doué d'un mouvement de rotation, elle prendra peu à peu le mouvement de cet axe, et on la verra s'aplatir progressivement vers les pôles. La force centrifuge augmentant, si l'on augmente la vitesse, on verra la région équatoriale se renfler de plus en plus, et à un certain moment un anneau se séparera, qui continuera à tourner autour de la planète centrale, comme on l'observe pour Saturne.

En s'accélérant, l'anneau s'agrandira, et bientôt il se brisera ; sa matière se réunira en un petit sphéroïde, et la planète microscopique se mettra à graviter autour de la miniature de soleil d'où elle est sortie.

Il est impossible, comme on voit, de mieux reproduire les conditions exigées par la théorie ; et cette belle expérience nous met en présence de véritables systèmes planétaires artificiels.

Les mêmes phénomènes qui ont donné naissance aux planètes se reproduisant dans celles-ci, ces dernières ont pu, certaines d'entre elles du moins, avoir des satellites, et rien n'empêche que des satellites aient les leurs.

Centre de rotation du système solaire. — Il faut bien remarquer que la formation des anneaux équatoriaux a pu se produire aussi dès la première segmentation de la masse primitive, de façon que chaque système, considéré dans son entier, tourne autour d'un centre d'attraction.

On sait que notre système se meut d'ensemble vers la constellation d'Hercule, jalon apparent le plus voisin de l'immense trajectoire suivie par ce système.

Peut-être, mais ici tout contrôle manque, la voie lactée tourne-t-elle également autour d'un centre particulier.

CHAPITRE II.

EVOLUTION SIDERALE.

La théorie de Laplace repose sur l'unité des forces mécaniques qui règnent sur les globes et règlent les rapports de ceux-ci ; — la théorie de l'évolution sidérale, que nous allons soumettre au lecteur, ou, en d'autre termes, la théorie des transformations successives des globes, s'appuie sur l'unité de constitution de ceux-ci et sur l'unité des phénomènes géologiques qu'ils présentent.

Toutes choses égales d'ailleurs, les globes se refroidissent d'autant plus vite qu'ils sont plus petits. On peut donc, en les prenant successivement de volumes moindres, les étudier pour ainsi dire à des âges différents. Pour imiter une célèbre comparaison

d'Herschel : de même que dans une forêt de chênes on sait, en examinant un certain nombres d'arbres, ce qu'était tel arbre en particulier, et ce qu'il deviendra ; de même on peut, par une simple comparaison entre les planètes, connaître les phases qu'un globe a traversées et celles qu'il lui reste à parcourir.

D'ailleurs, l'âge *réel* des globes se compose à la fois de l'âge *absolu*, c'est-à-dire du temps écoulé depuis leur séparation primitive du résidu central, et de l'âge *relatif*, qui dépend surtout du volume et des variations de la constitution chimique, causes évidemment déterminantes de la plus ou moins grande vitesse du refroidissement.

§ 1. — **État stellaire.**

Dans notre système, l'astre le plus jeune est évidemment le soleil. Certes, il ne représente plus exactement la masse primitive, mais c'est le corps sidéral qui s'en rapproche le plus.

Passage de l'état nébuleux à l'état stellaire. — Deux caractères surtout distinguent le soleil des nébuleuses : 1° la séparation plus complète, en zones successives, des vapeurs de densités diverses qu'il renferme ; 2° sa luminosité, qui résulte, comme on l'a vu, du refroidissement de sa région externe.

Il est facile de trouver des étoiles plus jeunes encore que le soleil, c'est-à-dire moins refroidies que lui. On les reconnaît au moyen du spectroscope, à leur moindre éclat et surtout à la plus forte épaisseur de leur atmosphère absorbante.

L'étude des diverses phases par lesquelles passe une étoile sous l'influence du refroidissement est extrêmement intéressante. Parmi ces phases, deux sont tout à fait principales : elles sont caractérisées, la première par une luminosité très-faible, révélant une constitution toute gazeuse; cette faiblesse d'éclat est le cas de beaucoup d'étoiles, comme aussi celui des nébuleuses dont nous avons signalé l'état gazeux; la seconde phase est caractérisée, à l'inverse de la première, par la vivacité de la lumière résultant de la condensation des éléments gazeux périphériques sous la forme d'une poussière solide ou liquide, ce qui est le cas du soleil. Cette poussière joue le rôle du carbone, de la chaux ou de la magnésie dans nos flammes artificielles; elle rayonne énergiquement.

Or, entre ces deux phases s'établit une lutte de longue durée, qui modifie sans cesse l'état de la surface de l'astre. La substance gazeuse du soleil paraît être jusqu'aux plus grandes profondeurs, dans un mouvement continu, et les immenses remous qui y prennent naissance sont vraisemblablement causés

par les réactions diverses et par le triage des matières d'après leurs densités. Ces mouvements amènent à la surface des gaz provenant des profondeurs, et dès lors très-chauds, et il en résulte des échauffements locaux qui volatilisent par places la photosphère et donnent lieu au phénomène des taches. Le ciel nous offre au complet toute la série des termes qu'on peut concevoir entre les étoiles nébuleuses et les astres complétement brillants, c'est-à-dire dépourvus de taches.

Rapports mutuels des disparitions, des intermittences et des apparitions d'étoiles. — C'est à des réchauffements du genre de ceux qui viennent d'être cités que se rapportent les disparitions d'étoiles signalées bien des fois, ainsi que les intermittences que présentent d'autres astres; c'est au contraire par des refroidissements que s'expliquent les apparitions subites qui ont été constatées.

M. Faye a émis l'idée [1] que les étoiles disparues, les étoiles variables et les étoiles nouvelles représentent les diverses phases d'un même refroidissement; idée bien différente, comme on va le voir, de celles que les astronomes des siècles précédents se faisaient de ces phénomènes.

La première étoile périodique dont les variations

[1] *Revue des cours scientifiques*, t. III, p. 617.

aient frappé les observateurs est o de la Baleine (*mira Ceti*). Elle fut signalée par Fabricius, l'un des auteurs de la découverte des taches solaires, et Bouillaud essaya d'en donner la théorie. Il supposa que l'étoile, possédant une face obscure et une face brillante, tournait sur elle-même, de façon à nous présenter successivement et périodiquement des disques différemment brillants.

A partir de cette époque le nombre des étoiles variables observées s'accrut rapidement, et la connaissance plus approfondie des faits fit justice des opinions de Bouillaud : les irrégularités des périodes de *mira Ceti*, qui varient de 300 à 367 jours quand elles ne sont pas, comme cela s'est présenté une fois, d'une durée de quatre années, suffirent à en montrer le peu de réalité.

En même temps ces opinions furent contredites non moins formellement par l'étude du phénomène des apparitions d'étoiles, phénomène dont on ne put méconnaître longtemps le lien avec les variations des astres périodiques, auxquelles les rattachent des transitions insensibles. Du même coup, il fallut renoncer aux idées de Tycho et de Kepler, pour qui les étoiles nouvelles étaient dues à l'agglomération subite de matière cosmique, jusque-là éparpillée dans l'espace, et à l'idée de Newton, qui voyait dans ces étoiles des so-

leils éteints, rallumés tout à coup par le choc d'une comète.

La question s'est considérablement simplifiée quand on eut reconnu, à la suite des découvertes de M. Schwabe, que le soleil, dont l'étude est comparativement si facile, rentre dans la catégorie des étoiles variables. Ses variations sont faibles, il est vrai, mais M. Wolff (de Zurich) a pu néanmoins en déterminer la période comprise entre 8 et 15 ans.

Nous avons insisté sur ce point que les changements d'éclat du soleil sont dus, sans aucune espèce de doute, à des particularités de sa constitution physique, et spécialement à la quantité plus ou moins grande de ses taches : cette explication s'applique à toutes les étoiles variables.

De plus, maintenant qu'on a fait du ciel un catalogue si complet, on trouve que les prétendues étoiles nouvelles ne sont que l'exaltation d'étoiles variables, dont les éclats extrêmes sont très-différents l'un de l'autre, et qui atteignent rapidement leur maximum. Ainsi, pour ne citer qu'un seul exemple, l'étoile de Janssen, qui apparut en 1600 avec un éclat correspondant à la troisième grandeur, et qu'on crut de nouvelle formation, disparut en 1621 après avoir subi des variations successives. Elle reparut en 1655, époque où Cassini la suivit, puis en 1665 d'après les

observations d'Hévélius. Elle est maintenant connue comme étoile permanente, et portée dans les catalogues sous la lettre P du Cygne.

On a donc le droit de dire que les étoiles nouvelles et les étoiles variables sont deux formes du même phénomène. Des études récentes ont fait connaître de chacune de ces formes un nombre infini de variétés.

Certaines étoiles variables, comme Algol et P de Céphée, offrent des périodes presque constantes, tandis que d'autres, par exemple R de l'Écu de Sobiesky et le soleil, sont excessivement irrégulières. La durée des variations va de trois jours à dix ans et plus. L'éclat maximum est pour les unes considérable (de troisième grandeur par exemple), et très-faible pour les autres (de septième, de huitième et même de neuvième grandeur). Enfin, la marche des variations est différente suivant l'astre dans lequel on l'étudie : tantôt les oscillations sont si irrégulières qu'on est inhabile à dire quelle loi les régit; tantôt, au contraire, un ou même deux maxima apparaissent avec la plus grande netteté.

D'ailleurs, il ne faut pas croire qu'aucun caractère commun ne relie entre eux les astres périodiques : la rapidité avec laquelle leur éclat augmente et la lenteur avec laquelle il diminue, après le maximum; la

longue durée du minimum ou de l'invisibilité, comparée à la soudaineté de l'exaltation lumineuse sont des traits de famille bien évidents. « Les analogies entre ces deux catégories d'étoiles, sont non moins frappantes que les différences, dit M. Faye, dans le travail auquel nous venons de renvoyer; on passe des unes aux autres par des gradations presque insensibles, en sorte que les faits nombreux que nous possédons aujourd'hui nous conduisent à examiner si les étoiles variables et les étoiles nouvelles ne seraient pas autre chose que les états successifs d'un même phénomène dont le ciel nous offrirait à la fois toutes les phases : les étoiles à éclat constant, les étoiles à faibles variations périodiques, les étoiles à périodes irrégulières, celles qui s'éteignent presque dans leurs minima, celles qui cessent de varier pendant un temps plus ou moins long, mais qui reprennent de l'éclat et subissent alors des variations considérables pour s'affaiblir de nouveau pendant un long laps de temps. Ne dirait-on pas que ce sont là les phases successives et de plus en plus dégradées de la vie d'une même étoile? Phases qui, pour cette étoile unique, embrasseraient des myriades de siècles, mais que le ciel nous offre simultanément quand on considère à la fois tous les astres qui y brillent. » Toutefois, il faut bien remarquer, comme nous l'a-

vons dit, que la période du plus grand éclat occupe le milieu entre deux périodes relativement sombres, la nébulosité totale et le passage à l'état planétaire.

Diminution progressive du volume des étoiles. — En même temps que ces phénomènes se produisent, l'astre se contracte et se rapetisse : nous devons, à ce propos, rappeler que pour rendre compte de la puissance et des caractères généraux de la végétation à d'anciennes périodes du globe, M. H. Lecoq suppose que le soleil était alors bien plus volumineux qu'aujourd'hui et qu'il répandait bien plus de chaleur.

§ 2. — État planétaire.

A la suite des phases qui viennent d'être décrites, un phénomène tout différent prend naissance : la croûte condensée, depuis longtemps trop épaisse pour que les taches puissent encore se produire, commence à se refroidir assez au dehors, pour s'assombrir peu à peu. Elle finit à la longue par perdre toute lumière propre : de soleil qu'il était par rapport au corps circulant autour de lui, l'astre devient planète pour le centre autour duquel il gravite.

Cette croûte condensée n'est pas l'épiderme du globe. C'est une cloison établie entre le noyau

interne toujours lumineux et les matières moins denses qui, gazéifiées par une énorme chaleur, forment ce qu'on appelle l'atmosphère. Elle est le point de départ d'une double formation : à l'intérieur, elle s'accroît sans cesse en épaisseur, par suite de la solidification successive des parties sous-jacentes ; à l'extérieur, elle reçoit les uns après les autres, dans un ordre déterminé par leur degré de volatilité, les produits condensables que renferme l'océan gazeux. Soumise à des efforts variés, elle se rompt souvent, et la matière fluide interne s'échappe par les fissures, en éruptions plus ou moins importantes, dont les chaînes de montagnes et les volcans actuels de la terre nous offrent la représentation bien affaiblie.

Phénomènes présentés par Jupiter. — La planète Jupiter paraît être en ce moment le théâtre de phénomènes de ce genre. Pendant les mois d'octobre et de novembre 1869, elle a présenté en effet un spectacle d'une beauté singulière et presque sans autre exemple. Les bandes de la planète, plus nombreuses que d'ordinaire, présentaient une plus grande variété de couleurs que jamais. La bande équatoriale, qui depuis des années était la partie la plus brillante de la planète, fut dépassée en éclat par les bandes du nord et du sud. D'habitude rien ne faisait tache sur le fond lumineux de cette bande ; à

de fréquentes reprises on y vit se produire l'apparence de nuages accumulés. Elle était généralement incolore, brillant d'un gris d'argent et d'un gris perlé; elle devint d'un jaune profond, ressemblant beaucoup à la couleur de l'or déposé par la pile.

M. John Browning, à qui l'on doit ces importantes observations, a donné de la planète une description complète [1]. Les pôles sont bleus, écrit-il, et les bandes qui en sont le plus rapprochées présentent une teinte foncée de la même couleur. Les bandes brillantes voisines sont d'un blanc perlé, et leur éclat l'emporte sur celui de toute autre partie de l'astre. Les bandes sombres sont d'un rouge de cuivre, et elles sont séparées par la ceinture équatoriale, qui est d'un jaune d'or.

Ces changements, aujourd'hui remplacées par d'autres, coïncident avec la présence dans l'atmosphère de Jupiter de vapeurs inconnues dans la nôtre; ils conduisent à faire admettre que la plus grosse des planètes de notre système n'a pas encore perdu la faculté de luire quelque peu par elle-même. On a vu d'ailleurs précédemment que Neptune et Uranus ont une lumière propre.

[1] *Mounthly notices of the royal astronomical Society*, t. XXX, p. 39, 75, 153 et 230; t. XXXI, p. 33.

Formation du revêtement granitique. — En même temps que la croûte se consolide, elle subit extérieurement la double action d'une très-forte chaleur et d'une énorme pression : la pression de l'épaisse atmosphère qui la recouvre. Aussi les masses qui constituent cette croûte prennent-elles des caractères que la fusion simple ne saurait leur donner : le granite et le gneiss sont les représentants lithologiques les plus importants de cette période.

Condensation des mers. — Pendant la formation de ces roches, l'épaississement ininterrompu de la paroi qui les sépare du foyer incandescent fait que la température externe s'abaisse progressivement. Il vient un moment où l'atmosphère, débarrassée de ses parties les plus denses, laisse déposer, à l'état liquide, les eaux qu'elle retenait en vapeurs. Ainsi se fait la première mer, dont les eaux, saturées de toutes les matières solubles et portées à une température considérable, réalisent des réactions chimiques variées aux dépens des masses qui constituent son bassin.

Soulèvement des continents. — Les bossellements de la surface se continuent, et les premiers continents apparaissent. A peine formés, ils subissent les attaques des flots, qui, les désagrégeant peu à peu, transportent leur matière pulvérisée dans les bas-fonds, où s'accumulent ainsi les premiers sédiments.

Sans cesse, ce puissant mécanisme fonctionne : les fonds de mer se soulèvent, et deviennent des continents ; les continents s'affaissent et deviennent des fonds de mer : mouvements alternatifs qui rappellent ceux d'une poitrine gigantesque. Et la formation de nouvelles couches stratifiées, la désagrégation partielle des couches d'ancienne formation suivent leur cours, toujours déplacé et toujours ininterrompu.

Apparition de la vie organique. — C'est ainsi que peu à peu les conditions de la surface se modifient, s'adoucissent. Les eaux de la mer, qui étaient bouillantes, deviennent tièdes ; et l'air, maintenant transparent, laisse arriver jusque dans ses profondeurs la lumière d'un soleil colossal. Un phénomène nouveau se déclare : l'apparition de la vie organique.

Au fond des mers, premier théâtre des êtres organisés, des algues élémentaires et des animalcules se montrent d'abord. Des polypiers, des foraminifères, des spongiaires, des coquillages, des crustacés même ne tardent pas à les y joindre, et pour la plupart à développer une incomparable activité architecturale. A l'aide de matériaux impalpables extraits de l'onde, de petits êtres gélatineux, plus forts que les vents et les flots, bâtissent les récifs, les atolls, les archipels ; ajoutent d'énormes assises à l'entassement des ter-

rains stratifiés ; construisent des chaînes de montagnes qui sont leurs pyramides et édifient les continents sur lesquels nous nous enorgueillissons d'élever des bâtisses qui, comparées au travail de ces bestioles, ne font pas la figure d'une taupinière auprès d'une cathédrale.

En même temps que ces étonnants ouvriers se mettent à l'œuvre, les portions arides des continents se couvrent d'autres organismes, non moins délicats, les lichens, qui, au moyen de misérables crampons, surmontent les résistances de la roche la plus dure, et l'émiettent ; qui s'en assimilent certains éléments, puis, confondant leurs propres dépouilles avec la masse des débris accumulés par eux, donnent naissance à une première *terre végétale*, qui permettra l'éclosion d'êtres plus parfaits.

A leur tour, ceux-ci, par des procédés analogues, fourniront à la vie les moyens de s'élever encore d'un degré, et ainsi de suite jusqu'à ce que, à la faveur du système de rotation qui soumet alternativement toutes les parties du globe à l'action épuisante des météores atmosphériques et à l'action fécondante de la menstrue océanique, la vie ait atteint son apogée.

Apparition de l'homme. — Les animaux apparus les premiers dans l'océan primitif, comme les premiers représentants de la faune continentale, n'ont

fait qu'ouvrir le long défilé de toute la série animale. Mais à mesure que celle-ci se développe le rôle de la vie change, et tandis que dans ses premiers représentants son action géologique était immense, elle devient presque nulle chez ses représentants les plus élevés. Après avoir, par les premiers, réalisé le milieu nécessaire à la production des seconds, elle tend par le moyen des seconds à assurer la manifestation d'un principe, autre et plus élevé que le sien, qui, répandu çà et là à l'état de lueur diffuse dans ces régions privilégiées de l'animalité, va prendre dans un être qui formera le couronnement de la série biologique, dans l'homme, toute la fixité et toute l'intensité d'éclat compatibles avec l'existence terrestre.

L'isthme de Suez ouvert; le mont Cenis percé; en Californie, des montagnes nivelées par les chercheurs d'or; partout d'immenses remblais opérés; la Hollande conquise sur les flots ; la mer de Haarlem desséchée; le desséchement des étangs et des lacs; l'immersion des terres basses; la création de lacs artificiels au moyen de barrages; l'endiguement des fleuves et des rivières ; le creusement des canaux; le forage des puits; l'irrigation et le drainage; le colmatage qui détourne au profit des terres le limon fertilisant que les cours d'eau portent à la mer; la fixation des dunes; des cavernes ouvertes par l'ex-

ploitation des carrières; l'emploi des combustibles minéraux versant dans l'atmosphère et restituant au cercle de la vie organique des dépôts de force, immobilisés dans les profondeurs du sol : ce sont là quelques travaux ayant un caractère géologique très-marqué, puisque les agents chimiques et géologiques qui ont donné à la terre son relief actuel en ont fait et en font encore aujourd'hui de pareils. Le même caractère se trouve également en des travaux qui n'existent encore qu'à l'état de projet, mais qui sont physiquement et humainement faisables quoiqu'ils puissent n'être jamais exécutés. Tels sont : la création de mers artificielles et en particulier celle de la mer de Galilée; la transformation des détroits en isthmes par de simples remblais; la fertilisation des déserts par le forage des puits artésiens; la fabrication de la terre végétale au moyen de torrents artificiels prenant dans la montagne, pour les transporter dans les plaines, des débris de roche qui se transforment, chemin faisant, en limon fertilisant. Notons que faites ou à faire ces choses ne sont encore que des œuvres d'apprenti, l'homme ne s'étant que récemment mis à l'école de la science. Cependant, elles n'auraient besoin dès aujourd'hui que d'être amplifiées, et la civilisation leur procurera cet agrandissement par le seul fait de sa durée, pour prendre

rang, par la multiplicité et l'importance de leurs conséquences, parmi les œuvres principales de la nature. Chacune des opérations précitées a en effet pour résultat, parfois indirect, souvent imprévu, toujours assuré, de modifier en quelque chose les caractères physiques de la région où elle s'exécute. Par elles l'homme a appris, ce dont il était loin de se douter, qu'il peut avoir une action modificatrice sur les vents, sur les météores aqueux, sur la température de l'air et, de proche en proche, sur tous les éléments climatologiques ou, d'une façon générale, sur les conditions biologiques de la surface terrestre. Par l'acquisition et par l'exercice systématique de ce pouvoir, il peut exercer sur sa destinée et sur celle des êtres dont l'existence est associée à la sienne une influence à la longue tout aussi considérable que celle qu'ont eue sur son passé les agents géologiques qui ont constitué le milieu dans lequel il a vécu.

Vie du globe. — Arrivé à ce point, le globe est parvenu à la plénitude de la vie. Il vit en effet, et comment, après le rappel des faits qui précèdent, pourrait-on mettre la chose en doute ?

Le foyer interne qui, pour un regard superficiel, établit une différence si marquée entre la terre et les êtres supérieurs est une analogie d'ordre élevé : la terre a une chaleur propre.

La rigidité de la substance, autre différence apparente, n'est qu'une apparence trompeuse, un fait mal observé; la flexibilité de l'écorce solide, simple pellicule, comparée au diamètre du noyau qu'elle recouvre, étant une des clefs principales de l'histoire de la planète.

Comme la plupart des êtres vivants, la terre réunit en elle tous les états physiques de la matière; des solides, des liquides et des gaz. Chez elle, comme chez tous les êtres vivants, on trouve des parties diverses par la structure, par les propriétés et par les degrés de vitalité. Chez elle, comme chez eux, des fonctions spéciales sontat tribuées à des organes, à des appareils et à des systèmes déterminés; les volcans et les glaciers, les végétaux dans leur ensemble et les animaux dans leur totalité en sont des exemples. Enfin, pour la terre, comme pour tout être vivant, l'état sous lequel elle se présente à un moment donné n'est que le résultat du conflit perpétuellement établi entre sa force propre et le milieu dans lequel elle est plongée.

La terre est le théâtre d'un nombre infini de circulations variées, dans le cours desquelles, comme dans les circuits analogues chez les végétaux et les animaux, les molécules peuvent ne point éprouver de changements ou n'éprouver que des changements

d'état, ou subir des transformations chimiques. Les eaux, dans l'air, sous terre et dans l'eau même, sont assujéties à parcourir de nombreux circuits de ce genre. Le nuage, la pluie, le fleuve, l'océan, marquent les étapes de la circulation atmosphérique et superficielle de l'eau. Par suite de la porosité des roches, l'eau pénètre dans le sol jusqu'à des profondeurs où elle acquiert une température qui lui permet de dissoudre des matières variées; ainsi modifiée et chargée des produits de cette extraction, elle remonte à la surface par les canaux que forment les fissures du sol, et réapparaît au grand jour sous forme de jets de vapeur ou de sources thermales; c'est la circulation souterraine de l'eau qui peut-être rend compte du phénomène des volcans. Enfin, dans l'eau même, l'eau décrit des circuits nombreux qui ne sont autres que ces grands courants réguliers dont nous avons parlé dans la première partie de ce travail.

Pareils systèmes sont constitués dans l'atmosphère au profit des gaz, par le mécanisme des vents généraux. Et quant aux exemples de circulations accompagnés de changements chimiques, il suffit de citer celles que déterminent les êtres vivants. Pour leurs effets, les transformations du carbone en donnent un des plus remarquables exemples qu'on puisse citer.

Chez la terre, comme chez les animaux, chaque fois qu'une cause quelconque produit son effet, on peut être certain qu'il existe à côté une cause antagoniste développant l'effet inverse; et c'est ainsi que le globe, tout en suivant les phases de son développement, tend, comme un être organisé, à conserver son état primitif d'équilibre.

Le double fait de la destruction et de la production des montagnes fera bien comprendre cette statique du globe. Plusieurs causes contribuent à la destruction des montagnes : c'est d'abord la pluie, qui creuse et élargit sans cesse les vallées, et qui peut même déterminer des éboulements de quartiers de montagne comme celui du Rossberg, qui en 1806 ensevelit sous ses débris le village de Goldau; la pluie constitue, à vraiment parler, le plus puissant agent géologique de la surface; — ce sont encore les glaciers, qui empruntent aux pics élevés les matériaux de leurs moraines; — ce sont aussi les torrents de montagne, dont le volume et la vitesse rendent l'énergie démolissante si considérable; — c'est la mer enfin, qui corrode avec tant d'énergie les falaises du littoral. Ces divers agents concourent, avec l'accumulation des sédiments dans les fonds, à conduire progressivement la surface du globe vers un nivellement général. Mais à côté de ces actions

concordantes il en est d'autres, inverses, c'est-à-dire dont l'effet est de déterminer des inégalités de l'écorce terrestre. Les failles dont celle-ci est hachée, et qui limitent si nettement les chaînes de montagnes, montrent, par les *rejets* qu'elles présentent si souvent, comment les couches du sol ont été dérangées de leurs situations originelles; et les mouvements lents de soulèvement et d'affaissement, si manifestes par exemple au Chili et en Scandinavie, nous apprennent comment des continents tout entiers peuvent s'élever au-dessus des mers, au fond desquelles leurs couches se sont successivement déposées. Grâce à ces deux ordres d'actions antagonistes, l'état d'équilibre du globe se maintient d'une manière plus ou moins invariable.

§ 3. — État lunaire.

Par cela même que la forme planétaire constitue l'état adulte des astres, la réalisation de cette forme est nécessairement suivie de phases dont ce qui se passe chez les êtres vivants fait pressentir le caractère : ce sont des phases de déclin, rattachées par des intermédiaires insensibles à la période d'apogée.

Le refroidissement continuant toujours, la croûte épaissit de la circonférence vers le centre, et en

même temps un fait qui s'était produit dès le début, mais qui n'avait eu jusqu'alors que des conséquences négligeables, devient considérable : ce fait, c'est l'absorption des eaux et de l'atmosphère.

Absorption des eaux. — Les eaux pénètrent de proche en proche dans l'épaisseur des roches. Il est de connaissance vulgaire que les pierres qu'on extrait des carrières et des mines sont saturées d'humidité. Exposées à l'air, elles se dessèchent par la volatilisation de leur *eau de carrière*, c'est l'expression usitée. Il résulte de là que la formation des terrains stratifiés, qui sur certains points ont des épaisseurs si considérables, a fixé des quantités énormes d'eau, qui auparavant étaient liquides et faisaient partie de l'océan. Ce que l'on sait moins généralement, c'est que les mêmes terrains qui supportent les couches de sédiment et constituent à proprement parler l'*assise* du globe, absorbent aussi beaucoup d'eau. Dans un travail spécial[1] Durocher a déterminé la proportion centésimale d'eau que renferment normalement les éléments des roches cristallines, et il a trouvé pour la moyenne le nombre 0,0127.

Or, l'épaisseur de l'assise cristalline allant cons-

[1] *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. X, p. 431.

tamment en augmentant, par suite des progrès du refroidissement intérieur, et, d'un autre côté, de nouvelles couches sédimentaires s'ajoutant sans cesse aux précédentes, la quantité d'eau que la croûte peut absorber s'accroît elle-même à chaque instant. L'eau de la surface ainsi aspirée imprègne donc une épaisseur de plus en plus grande de matériaux solides, et l'océan actuel, si considérable que soit son volume, n'est évidemment qu'un résidu de la mer, bien plus considérable, des époques primitives.

Ceci peut être vérifié, en quelque manière, car beaucoup de faits s'accordent à montrer que l'océan des anciennes périodes couvrait bien plus de surface que celui d'aujourd'hui. C'est à peine si pendant le dépôt des terrains siluriens, et à plus forte raison pendant celui des couches antérieures, on reconnaît quelques points du globe non recouverts par les eaux marines. Depuis lors la surface des parties émergées a acquis une étendue progressivement croissante.

Absorption de l'atmosphère. — On peut répéter pour l'air ce qui vient d'être dit pour l'eau : notre atmosphère et notre océan sont simultanément *bus* par la partie solide de notre globe, et l'on peut assurer que plus la terre vieillira plus l'océan restreindra

ses limites, plus l'atmosphère diminuera d'épaisseur.

Un coup d'œil jeté sur les planètes qui gravitent avec nous autour du soleil fera ressortir la justesse de cette prédiction.

Absorption de l'océan et de l'atmosphère dans les planètes. — Relativement à l'époque de leur séparation, les planètes sont d'autant plus âgées qu'elles sont plus distantes du soleil. Et si en même temps elles sont de volume et de constitution comparables, leur âge réel croît régulièrement avec leur distance. C'est ce qui a lieu très-nettement pour les quatre planètes dites *intérieures*, savoir Mercure, Vénus, la terre et Mars.

Malgré les variations, en apparence un peu irrégulières de leurs densités, et qui sont dues au degré inégal de leur développement, on reconnaît aisément que, ramenés aux mêmes conditions et, par exemple, au refroidissement total, ces astres pèseraient d'autant plus qu'ils sont plus voisins du soleil. Déjà Mercure, qui est la plus jeune des planètes que nous puissions observer, est en même temps la plus dense; et la terre et Mars vont, sous ce rapport, en décroissant régulièrement. Quant à Vénus, sa densité, plus faible que celle de notre globe, montre qu'elle est moins refroidie que lui, ce qui

tient, avant tout, à sa position plus centrale et peut-être aussi à sa constitution chimique.

Le même fait d'une évolution progressive ressort nettement de la comparaison des atmosphères de ces quatre planètes. Mercure est enveloppé d'une couche aériforme épaisse et très-dense, qui reproduit sans doute dans ses traits essentiels celle qui entourait la terre primitive; l'atmosphère de Vénus, déjà considérablement épurée, est encore très-élevée, comme le prouve l'intensité du crépuscule qu'elle produit; et notre enveloppe aérienne, transparente et pure, sert de transition entre la précédente et celle qui entoure Mars d'une couche relativement très-mince.

On retrouve la même série, quant à la grandeur de la mer dans ces divers astres, au moins dans ceux où la mer peut être observée. Ainsi, comme on l'a déjà dit, tandis que sur la terre l'eau couvre les trois quarts de la surface du globe, sur Mars, qui est bien plus âgé, elle n'en baigne que la moitié.

La hauteur comparée des montagnes donnerait sans doute un résultat concordant si elle avait pu être l'objet de mesures suffisamment précises. Sur Mercure, où l'observation est très-difficile, on n'a étudié (et encore indirectement) qu'une seule montagne qui atteint 20,000 mètres; et rien ne donne à croire qu'il n'y en ait pas de beaucoup plus hautes.

Sur Vénus, qui a été beaucoup mieux observée, on a évalué à 44,000 mètres l'élévation des plus grands pics. Sur la terre les montagnes les plus hautes n'ont pas 9,000 mètres; Mars continue sans doute cette marche décroissante.

Mais, après ce dernier, la série est brusquement interrompue. Sans parler des astéroïdes, sur lesquels nous reviendrons plus loin, on trouve que Mars et Jupiter diffèrent profondément l'un de l'autre.

C'est ici le lieu de rappeler, en y insistant, la distinction faite, en terminant notre première partie, entre les trois groupes de planètes qu'il convient de distinguer. On a vu comment chacun de ces groupes correspond jusqu'à un certain point à l'une des trois enveloppes, gazeuse, liquide et solide du globe terrestre; « le soleil, représentant disions nous, le noyau encore à l'état de fluidité ignée que renferme notre planète, Neptune et Uranus répondent à l'atmosphère, Saturne et Jupiter à la masse liquide, et le reste aux roches solides. » Nous pouvons chercher comment on doit expliquer cette constitution remarquable du système solaire, et les observations spectracles dont le soleil a été récemment l'objet viennent vivement éclairer la question.

Causes des différences réciproques des planètes. — En effet, dans le soleil les vapeurs, malgré la diffusion dont elles sont le siège, et qu'on ne saurait nier, sont rangées, au moins dans la partie visible, suivant un ordre conforme à celui de leurs densités. Les plus légères forment les couches les plus extérieures, et dans le fond des taches on trouve des gaz relativement très-lourds. Le même fait s'est nécessairement produit dans la grosse nébuleuse originelle dont le soleil actuel représente le résidu. De façon que, malgre l'unité qui les relie, les diverses planètes sont formées de matériaux différents provenant de couches diverses de la nébuleuse.

Considérées à ce point de vue, les planètes supérieures correspondent, dans la série astrale, aux êtres atteints d'*arrêt de développement* dans la série organique. Formées d'éléments qui, par leur nature même, sont incapables de recevoir, par le fait du refroidissement, les caractères que nous offrent les matériaux de l'écorce solide du globe, elles ne peuvent traverser que les premières phases de l'évolution sidérale, et s'arrêtent à un terme qui correspond, si on nous permet l'expression, à l'état embryonnaire des globes plus complets.

Avenir du globe terrestre. — Toutes choses égales d'ailleurs, les satellites, étant plus petits que les

planètes autour desquelles ils gravitent, on doit les considérer comme plus âgés que celles-ci. Ainsi, la lune est plus âgée que la terre et représente l'état auquel cette dernière parviendra plus tard. Ce qui caractérise la lune, c'est, comme on sait, l'absence d'eau et d'air. On doit se demander si le phénomène, décrit plus haut : savoir, l'absorption de la mer et de l'atmosphère par les masses profondes, n'amènera pas, en se continuant, la dessiccation complète de l'astre sur lequel nous vivons.

Évidemment, l'épaisseur de la croûte terrestre consolidée est bien peu de chose par rapport au rayon du globe. Nous en avons la preuve dans l'activité volcanique de toutes les régions et dans les mouvements généraux qui agitent d'une manière ininterrompue l'enveloppe encore flexible qui nous supporte. Par le fait seul de son épaississement, la masse solide absorbera donc encore beaucoup d'eau.

Un calcul bien simple, effectué par M. Sæmann [1], nous conduit à cette conséquence irréfutable qu'en partant des données acquises, l'eau de la mer tout entière ne suffirait pas, à beaucoup près, à l'hydratation moyenne des masses profondes en

[1] *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XVIII, p. 322.

voie de solidification. L'océan en effet, d'après l'estimation du géologue qu'on vient de nommer, représente la 24,000ème partie du poids du globe, ce qui, réduit en centièmes, donne le chiffre 0,0042 pour la proportion d'eau contenue dans le globe tout entier. Or, on vient de voir que la moyenne fournie pour les roches est de 0,0127, c'est-à-dire trois fois plus grande; l'océan serait donc totalement absorbé bien avant que le refroidissement ait gagné le centre.

On se représente aisément les phases de cet inévitable dessèchement : l'appauvrissement successif de la vie animale et végétale et notre constitution climatérique remplacée par de subites alternatives de chaud et de froid que des nuages et des pluies, de plus en plus rares, atténuent de moins en moins.

Mais ce n'est pas tout. Sous la double influence de l'appel vers le centre, dû au refroidissement, et de la pression atmosphérique, les régions superficielles se dessèchent au profit des masses profondes; dans le vide ainsi produit l'air pénètre peu à peu, et l'astre, depuis longtemps impropre à la vie, devient désormais le domaine du silence. Enfin, après avoir vu s'éteindre les êtres animés qu'il portait et disparaître les eaux qui le baignaient, il perd

jusqu'à son ciel : une profondeur noire l'environne de toutes parts.

C'est un astre mort, un cadavre.

État actuel de la lune. — Notre satellite, la lune, présente maintenant ces conditions : son atmosphère, presque complétement, sinon complétement absorbée, stagne dans les vallées les plus basses; depuis longtemps l'eau liquide n'existe plus à sa surface.

Cependant, la lune n'a pas perdu encore la totalité de sa chaleur originaire; et c'est à cette occasion que, sans en chercher ici la cause, on peut citer les faits signalés par M. Birt[1], d'après qui la lune offre certains points dont la teinte varie un peu suivant les circonstances.

On voit donc que la lune, quoique évidemment plus âgée que les autres globes, n'est pas arrivée elle-même à la dernière des phases que traversent les astres. Comme il n'existe, à notre connaissance, aucun globe plus avancé qu'elle en refroidissement, il est naturel de se demander si, à un moment donné de leur histoire, les astres ne changent pas de forme : les météorites, si différentes par leur nature fragmentaire de tous les corps cé-

[1] *Rapport présenté à l'Association britannique lors de sa réunion à Exeter,* le 18 août 1869.

lestes dont nous venons de parler et analogues par ce caractère aux astéroïdes, nous fourniront plus loin, en même temps que ceux-ci, l'occasion d'examiner cette question.

RÉSUMÉ DE CE CHAPITRE.

Pour le moment, bornons-nous à jeter un regard d'ensemble sur le chemin parcouru et à constater l'admirable continuité des phénomènes que comprend l'évolution sidérale.

Sous la seule influence du refroidissement, la matière nébuleuse originelle, raréfiée à l'excès et à peine lumineuse, se concentre autour d'un centre d'attraction. Bientôt elle acquiert une densité relativement forte et se groupe en une sphère. A sa périphérie se concrète une couche de poussière liquide ou solide qui doit à son état physique le pouvoir de rayonner, et l'astre prend l'apparence d'une étoile. Longtemps se continue la lutte entre l'action refroidissante venant du dehors et l'action réchauffante qui siège au centre : les taches prennent naissance, et ainsi s'expliquent les phénomènes de périodicité d'éclat, les apparitions et les disparitions subites d'étoiles. Cependant, la croûte s'épaississant toujours résiste de plus en plus à l'action calorifique interne. Enfin,

elle se refroidit assez à l'extérieur pour devenir sombre, et l'astre revêt la forme planétaire. Mais, le refroidissement continuant toujours, les phénomènes auxquels nous assistons sur la terre prennent naissance; après quoi l'absorption graduelle de l'eau et de l'atmosphère transforme la planète en lune.

Voyons maintenant ce que l'avenir réserve à celle-ci : c'est le pronostic de notre propre planète qui sortira de cette étude.

CHAPITRE III.

RUPTURE SPONTANÉE DES ASTRES.

Comme on vient de le voir, la lune est de tous les globes connus le plus avancé en développement; il s'en faut néanmoins de beaucoup qu'elle représente le dernier terme de l'évolution sidérale.

Sous l'effet du refroidissement qui la gagne, elle continuera évidemment de se contracter, et nous posons la question de savoir si le retrait ainsi produit n'aura pas pour résultat de la fendre et de la réduire en morceaux.

Or, il est impossible de ne pas reconnaître chez les astres une tendance à la rupture spontanée.

Les failles de la terre. — La terre, dont la surface

a été l'objet d'une étude relativement si approfondie, nous montre de toutes parts des fêlures en sens divers. Ces fêlures, connues sous le nom de *failles*, ne sont point dues à des causes locales, mais à une action générale, qui produit dans l'écorce terrestre ces mouvements d'ensemble désignés, par M. Élie de Beaumont, sous le nom de *bossellements généraux*, action liée à la diminution progressive de volume du noyau interne, au fur et à mesure du refroidissement.

En effet, le premier revêtement solide de notre planète s'est nécessairement concrété sur un sphéroïde fluide beaucoup plus gros que n'est aujourd'hui la terre, et à moins de supposer, contre toute vraisemblance, que ce revêtement ne repose plus sur la matière fondue interne, il faut admettre qu'au fur et à mesure de la contraction de celle-ci il a cédé, par places, de façon à la suivre dans son mouvement centripète. Il n'a pu le faire qu'en se fendillant, et les voussoirs, ainsi délimités, ont glissé les uns sur les autres, en déterminant du même coup les grandes lignes du relief du sol. En même temps une portion du magma fluide s'injectait dans les fissures, et venait en les remplissant former les filons, les dykes, les typhons, les culots que l'on rencontre de tous côtés, et dont l'âge et la nature lithologique sont si intimement liés ensemble.

A l'époque actuelle, la terre étant encore fort loin d'être refroidie jusqu'au centre, cet ensemble de phénomènes se poursuit dans la profondeur, sans que la surface éprouve autre chose que des mouvements lents. Mais on peut se demander si dans la suite ces velléités de rupture, toujours contrariées par une cimentation profonde, ne feront pas place à une rupture véritable.

Si cette supposition est fondée, la lune, étant plus avancée que la terre en développement, doit manifester cette tendance à la rupture avec une accentuation plus marquée.

Les rainures de la lune. — Or, c'est justement ce que l'observation révèle. Tout le monde connaît l'existence des *rainures*, c'est-à-dire de ces crevasses à la fois si étroites et si longues qui, avec une profondeur inconnue, traversent, sans s'infléchir, des plaines, des cratères et des montagnes. Ces crevasses n'ont nulle part leurs analogues sur la terre, et ce n'est que récemment qu'on a reconnu leur véritable signification : elles sont le commencement, déjà très-caractérisé, de la rupture de l'astre mort.

Que la terre ait un jour des rainures, voilà qui ne saurait être douteux, et tout nous conduit à penser que sur la lune elle-même le phénomène atteindra des proportions bien plus considérables.

Caractère fragmentaire des petites planètes. — Fidèle à nos principes, nous chercherons dans le ciel les effets d'une action plus prolongée des influences dont l'exercice est si manifeste sur la terre et sur la lune. Les petits astéroïdes situés entre les orbites de Mars et de Jupiter paraissent nous les fournir.

Il semble en effet, bien que nous reconnaissions le peu de certitude acquis dès à présent à des vues de cette nature, il semble que la petitesse de leur masse totale, l'enchevêtrement de leurs orbites, la forme polyédrique qu'on leur a reconnue, l'absence de toute atmosphère, enfin la grande distance qui les sépare du soleil, soient autant de raisons pour voir dans ces planètes, à peu près comme le voulait Olbers, les fragments séparés d'un astre jadis unique.

A peu près dis-je, car l'hypothèse si simple de la rupture spontanée, substituée à l'idée peu naturelle d'un choc ou d'une explosion, semble faciliter beaucoup la solution de certaines objections qui ont eu raison des idées de l'astronome de Brême. Du nombre serait peut-être cette circonstance que les orbites, extrêmement enchevêtrées, sont loin de se couper toutes au même point comme cela devrait être dans l'hypothèse d'Olbers. Il n'y a en effet aucune raison de supposer que la désagrégation spontanée se soit faite tout d'un coup. L'astre, sous l'influence longtemps

continuée des actions déjà si fortement empreintes sur la lune, a pu se réduire d'abord en un très-petit nombre de fragments (deux, par exemple), inégaux, de densités diverses, et dont les centres de gravité étaient éloignés du soleil de quantités différentes. Ces fragments ont pu se séparer progressivement, et il suffirait, pour justifier l'hypothèse, de retrouver un seul point d'intersection de leurs orbites. Chacun d'eux, après un temps inconnu, serait devenu le théâtre de divisions secondaires du même genre, et, ces fractionnements se multipliant, certains débris auront parcouru des orbites de plus en plus écartées les unes des autres, orbites qui par suite des actions perturbatrices progressivement croissantes des astres voisins, ont affecté en outre des inclinaisons de plus en plus considérables.

Caractère fragmentaire des météorites. — Les météorites représentent un terme encore bien plus avancé de la désagrégation spontanée, et leur étude devient ici particulièrement riche en enseignements positifs.

A côté du globe lunaire, qui se fend de lui-même, elles nous montrent en effet, avec une évidence qu'on ne peut méconnaitre, les fragments d'un astre déjà brisé. Ne faudrait-il pas être aveugle pour meconnaître la nature du procédé par suite duquel elles ont

acquis leur caractère fragmentaire? N'est-il pas aussi évident que peut l'être un fait de cette nature que les crevasses de la lune, successivement prolongées et approfondies, finiront par résoudre l'astre aujourd'hui unique en blocs distincts et n'ayant d'autre lien que leur mouvement orbitaire simultané?

Origine des météorites. — Mais cette communauté même d'allure ne saurait durer longtemps; les fragments ayant des densités diverses et étant situés à des distances inégales du centre, seront, ceux-ci accélérés, ceux-là retardés; ils glisseront les uns contre les autres, se concasseront suivant leurs surface de moindre cohésion, puis enfin s'éparpilleront peu à peu le long de l'orbite que décrivait le globe dont ils auront fait partie.

Au bout d'un temps suffisant, ils ceindront donc d'un anneau complet l'astre central, c'est-à-dire la terre, autour duquel leur ensemble gravite, et, dès lors beaucoup plus sensibles à son attraction, ils ne tarderont pas à se précipiter sur sa surface. A ce moment ce seront de véritables météorites, dont l'arrivée sera accompagnée de tous les phénomènes que nous connaissons.

Remarquons que la distribution le long de l'orbite des fragments résultant de la destruction d'un astre constitue un phénomène inverse de la contraction

subie, suivant la théorie de Laplace, par les anneaux de la nébuleuse originelle. L'opposition est due à la différence d'état physique de la matière qui était fluide au début, et qui à la fin est solide.

Peut-être cette distribution pourrait-elle être vérifiée expérimentalement par une modification convenable de la belle expérience de M. Plateau : il suffirait de remplacer l'huile qui constitue la sphère et son satellite par une substance pouvant se solidifier et éprouver un retrait suffisant.

Il résulte de ces déductions successives que les météorites sont en définitive le produit de la désagrégation (par suite du refroidissement porté à sa dernière limite) d'un petit satellite que la terre voyait autrefois graviter autour d'elle.

Cette hypothèse, complétement différente de toutes celles qu'on a proposées jusqu'ici, satisfait à toutes les conditions que M. Faye, dans un travail digne de la plus haute attention, impose aux hypothèses. « On pourrait, ce me semble, dit le savant astronome[1], distinguer en deux classes les hypothèses : celles qui procèdent d'une sorte de divination et celles qui naissent du raisonnement appliqué à un sujet donné. L'histoire des sciences nous montre que les premières

[1] *Comptes rendus*, t. LIII, p. 259.

aboutissent rarement à la vérité. Quand elles se présentent à l'esprit, c'est en général que l'esprit n'a réussi à se concentrer que sur le fait lui-même qui le préoccupe. Lorsqu'il suit l'autre marche, c'est qu'il a réussi à entrevoir des rapports entre ce fait et d'autres phénomènes plus ou moins éloignés. Sans doute le génie supprime souvent les intermédiaires, et arrive au but sans laisser voir d'abord le chemin franchi; mais bientôt, avec de la réflexion, quand on a sous les yeux le point de départ et celui d'arrivée, on rétablit la marche qu'il a dû suivre, quelquefois à son insu. Cette sorte de restitution sert, à son tour, d'exemple, de guide, de méthode aux simples travailleurs qui, comme moi, se posent un problème difficile avec le vif désir d'arriver aussi à la vérité. Mais, de quelque manière qu'on s'y prenne, par une intuition rapide ou par un raisonnement lent, il faut avoir constamment devant les yeux cette condition générale sinon absolue : l'hypothèse à laquelle on se trouve conduit doit être susceptible d'une vérification expérimentale. »

De plus, l'hypothèse que nous proposons paraît offrir l'avantage de rattacher un phénomène naturel à une cause générale, au lieu d'en faire le témoignage d'un véritable désordre dont rien autre chose ne justifierait la supposition. Elle nous montre en

effet dans l'origine des météorites le dernier terme de la longue évolution des astres et le mécanisme à l'aide duquel la matière des globes morts retourne à ceux qui continuent à vivre ; ce qui sur une échelle plus vaste rappelle le cercle dans lequel se meut la matière organique.

Age relatif des membres du système solaire. — Si on admet cette manière de voir, les astres qui composent le système solaire *intérieur* se rangeront d'après leur âge de la manière suivante : le soleil, Mercure, Vénus, la terre, Mars, la lune, les astéroïdes situées entre Mars et Jupiter, enfin les météorites.

Ajoutons que, conformément aux idées du docteur Mayer, pour qui la matière de la lumière zodiacale est produite par un anneau de fragments solides gravitant autour du soleil, on pourrait peut-être voir dans ces fragments le produit de la démolition spontanée de planètes, que leur petit volume aurait amenées plus vite que les autres au terme de leur évolution.

Comme nous l'avons dit, les planètes dites *extérieures* sont en dehors de cette série ; elles témoignent, par l'existence de nombreux satellites, de l'état originel de toutes les planètes. Si les planètes intérieures, sauf la terre, n'en ont pas, c'est que ces

petits astres sont complétement désagrégés, tandis que les satellites de Saturne, de Jupiter, etc., échappent à ce dénouement en raison de leur nature fluide. On peut supposer que parmi les satellites intérieurs la lune faisait exception par son volume, beaucoup plus considérable, circonstance à laquelle cet astre aura dû la prolongation de sa durée.

CHAPITRE IV.

GEOLOGIE PROFONDE DU GLOBE TERRESTRE.

Un des problèmes les plus intéressants de la Géologie consiste dans la détermination de la nature des masses qui existent au-dessous du revêtement cristallin sur lequel se déposent journellement les terrains stratifiés. A cet égard l'observation directe de notre globe fournit, comme on va le voir, trop peu de renseignements.

LUMIÈRES FOURNIES PAR LA GÉOLOGIE DESCRIPTIVE.

Étude des roches éruptives. — Jusqu'ici la Géologie descriptive n'a qu'un moyen de se faire quelque idée des masses profondes. Il consiste à préjuger,

par le témoignage des roches éruptives sorties au travers des terrains primitifs et sédimentaires, la nature des couches en voie de solidification dans l'intérieur du globe.

En effet, les roches émises à toutes les époques peuvent être considérées comme les représentants lithologiques de nouvelles assises qui en se solidifiant s'ajoutent intérieurement à l'enveloppe solide.

Age relatif des roches éruptives. — L'apparition des roches d'épanchement et d'éruption correspondant à des époques distinctes de la série stratigraphique, on a pu constater l'âge relatif de ces roches, qui est pour les principales d'entre elles progressivement croissant de la manière suivante : le granite, le porphyre, le trachyte, les roches magnésiennes, le basalte et les laves modernes.

Il est présumable que l'émission de ces roches à la surface marque l'époque de la solidification interne de chacune d'elles. En supposant donc que, parvenu à la base du gneiss, on perce toutes les couches solides qui se trouvent au-dessous, on verrait probablement le gneiss passer au granite, celui-ci prendre peu à peu les caractères du porphyre, puis le phorphyre faire place successivement au trachyte, aux roches magnésiennes, aux basaltes et enfin aux laves.

Défauts du mode d'information procuré par les roches éruptives. — Toutefois, ce mode d'information, quant à la nature des régions profondes du globe, présente le double inconvénient d'être fort peu certain et extrêmement incomplet.

Il est fort peu certain, car rien ne prouve que les roches éruptives, que nous étudions à la surface, aient conservé les caractères des masses dont elles dérivent, et il est même extrêmement vraisemblable que le fait seul de leur émission a dû les modifier profondément. D'abord, elles se sont trouvées en présence de conditions toutes nouvelles de température et de pression. En second lieu, et dans beaucoup de cas, elles ont pu subir une action spéciale de la part de l'eau qui existe en si grande abondance dans les régions périphériques du globe. Enfin, des réactions ont dû se produire entre ces roches, et les masses minérales qui leur livraient passage.

Le procédé est extrêmement incomplet, car, en supposant la structure du globe connue jusqu'à la région d'où proviennent les laves modernes, il resterait encore à connaître la plus grande partie de l'immense rayon qui nous sépare du centre du globe. Et non-seulement la Géologie ne peut nous donner actuellement aucune notion à cet égard, mais il est manifeste qu'elle ne sera jamais beaucoup

plus instructive, puisque après un refroidissement suffisant les roches internes cesseront de pouvoir être poussées jusqu'à la surface.

LUMIÈRES FOURNIES PAR LA GÉOLOGIE COMPARÉE.

Devons-nous donc renoncer à jamais acquérir la connaissance de faits si intéressants pour nous? Non. Seulement, il faut la demander à la seule science qui puisse nous la procurer, c'est-à-dire à la Géogie comparée.

En effet, en vertu du principe, établi précédemment, de l'unité de constitution du système solaire, les astres voisins de la terre sont bâtis comme elle, et des notions fournies par l'un d'eux peuvent résoudre la question qui nous occupe.

Or, on a vu que les météorites proviennent d'un astre jadis unique, aujourd'hui brisé, et dont il nous a été possible d'entreprendre la reconstitution. On a vu d'autre part que cet astre était vraisemblablement tout à fait voisin de la terre et construit sur le même modèle qu'elle.

Voyons donc ce que l'examen des fragments de cet astre désagrégé peut nous apprendre sur la constitution profonde de notre globe.

§ 1. **Comparaison du globe terrestre au globe météorique.**

Stratification successive des roches météoriques. — On se rappelle que les faits d'observation ont montré que dans l'astre dont les météorites sont les débris les roches centrales constituaient un noyau métallique de fer allié à une certaine proportion de nickel. Par-dessus venaient, suivant l'ordre progressivement décroissant de leurs densités, des masses métalliques renfermant des grains pierreux disséminés, et dont nous avons des exemples dans la météorite de Pallas et dans celles du désert d'Atacama. Puis se trouvaient des roches essentiellement lithoïdes, mais renfermant des grenailles métalliques énormes, comme on le voit dans les pierres de la sierra de Chaco. Ces roches passaient progressivement à des masses qui ne diffèrent guère des précédentes que par la finesse de plus en plus grande de leurs grenailles, et dont les types nous sont fournis par les pierres de l'Aigle, d'Aumale, de Montrejeau, de Lucé, etc. Alors commençaient des couches d'où le fer est exclu, et qui appartiennent à des types très-différents entre eux, dont les trois principaux sont représentés par les pierres de Juvinas, de Chassigny et d'Orgueil.

Nous pouvons résumer cette constitution par la coupe théorique suivante.

7. Météorite d'Orgueil.
6. Météorite de Juvinas.
5. Météorite de Chassigny.
4. Météorites de Lucé, de Montrejeau, d'Aumale, de l'Aigle, etc.
3. Météorite de la Sierra de Chaco.
2. Météorite de Pallas.
1. Météorite de Caille.

Stratification des couches terrestres. — D'autre part, ce que nous savons du globe terrestre nous permet d'en faire la coupe hypothétique, que voici :

7. Atmosphère.
6. Océan.
5. Terrains stratifiés.
4. Gneiss et granite.
3. Laves.
2. Péridot et dunite.
1. Lherzolithe et roches silicatées magnésiennes analogues.

Un simple coup d'œil comparatif sur ces deux diagrammes montre entre eux des rapports très-intéressants.

Couches externes appartenant exclusivement à l'un ou à l'autre des deux globes. — Dans la coupe terrestre on voit d'abord l'atmosphère, l'océan et les terrains de sédiment; les météorites n'offrent rien d'analogue. Le gneiss et le granite ne sont pas non plus représentés parmi les roches cosmiques. D'un

autre côté la couche des météorites charbonneuses n'a pas de correspondante dans la coupe terrestre.

Couches identiques dans les deux gisements. — Mais voici les ressemblances qui commencent : les météorites de Juvinas, de Stannern, de Jonzac, etc., d'une part, et certaines laves volcaniques, d'autre part, ont entre elles les rapports les plus intimes. Même les laves de la Thjorza, en Islande, peuvent être considérées comme identiques avec les météorites susdites.

De même, le péridot terrestre est identique avec la météorite de Chassigny. Il existe à la Nouvelle-Zélande, ainsi que M. de Hochstetter l'a reconnu pendant le voyage scientifique de la frégate autrichienne *la Novara*, une roche à laquelle il a donné le nom de *dunite*, et qui consiste, comme la pierre de Chassigny, en péridot mêlé de très-petits grains de fer chrômé.

Couches seulement analogues dans les deux gisements. — Arrivent d'une part les météorites dites souvent du *type commun*, qui comprennent les types de Lucé, de Montrejeau, d'Aumale, de l'Aigle, etc., et, d'autre part, les roches éruptives magnésiennes dont les types sont la lherzolithe et la serpentine.

Ici la comparaison n'est plus si facile. Un simple coup d'œil montre des différences; l'aspect est autre

et la composition chimique n'est pas la même.

Toutefois, si la roche terrestre mise en parallèle est la lherzolithe, les éléments constituants sont communs aux types comparés ensemble. Des deux côtés en effet la masse est formée par des silicates magnésiens, renfermant du fer, du nickel, du phosphore, du soufre, etc.; mais ces corps sont dans les deux gisements à des états différents. Dans la lherzolithe, le fer, préalablement oxydé, est en combinaison dans un silicate; au contraire, il est, au moins en partie, à l'état métallique dans la roche météorique. De même du nickel. Dans la masse terrestre le phosphore, à l'état d'acide phosphorique, entre dans la constitution de phosphates; tandis que dans les météorites du type commun il est directement uni aux métaux et forme des phosphures. Comme on voit, la différence entre les deux ordres de roches peut être exprimée en deux mots, elle tient surtout à une proportion plus faible d'oxygène. Aussi, théoriquement, suffit-il d'enlever de l'oxygène à la lherzolithe pour en faire une météorite du type commun; et, à l'inverse, il suffit d'oxyder une météorite pour en faire une lherzolithe. Seulement, dans la pratique, les choses ne sont pas aussi simples, et l'on n'est pas parvenu à obtenir autre chose que la reproduction de ce que donnent les météorites ou la lherzolithe

après qu'on les a fondues, c'est-à-dire lorsqu'on a détruit la plupart de leurs caractères [1].

Si au lieu de prendre la lherzolithe comme terme de comparaison avec les météorites on met celles-ci en parallèle avec la serpentine, on constate un peu moins de ressemblance au point de vue chimique, puisque la serpentine renferme de l'eau ; mais en échange, à l'égard de la structure, examinée même dans ses derniers détails, on reconnaît, comme nous allons le montrer dans un instant, une analogie extrême ; et aussi nous verrons bientôt que, malgré la plus grande distance qui paraît la séparer des météorites la serpentine se transforme, par la perte de son eau et d'une portion de son oxygène, en une roche météorique qu'on ne peut reproduire avec la lherzolithe.

Il nous est interdit de pousser plus loin la comparaison entre les deux diagrammes tracés tout à l'heure ; rien parmi les matériaux géologiques ne rappelant les pierres de la Sierra de Chaco, ou les fers de Pallas et de Caille ; mais ce qui précède suffit à montrer l'étroite parenté qui existe entre les roches terrestres et les roches météoritiques.

On voit, pour tout résumer en un mot, que les moins denses de la deuxième série sont identiques

[1] V. les Mémoires de M. Daubrée déjà cités.

aux plus denses de la première; et il semble que nos roches auraient pu constituer l'enveloppe épidermique du globe sidéral.

§ 2. — Relations mutuelles des roches éruptives magnésiennes et de certaines météorites.

Si la liaison entre les roches terrestres et les roches météoriques est bien réelle, il y a le plus grand intérêt à étudier ce qu'on peut appeler le *contact* de ces deux séries, c'est-à-dire à comparer les roches qui, dans l'hypothèse d'une communauté de gisement, ont dû se trouver en relation immédiate ensemble.

Cette relation a existé, spécialement pour les roches pierreuses météoritiques éruptives, situées de façon à venir traverser les roches superficielles que nous avons sur la terre. C'est pour cela que nous avons étudié avec un soin particulier la roche qui constitue la pierre de Chantonnay, et qui, comme nous l'avons déjà dit dans la première partie de ce travail, a révélé des caractères éruptifs. Cette pierre, malgré des différences faciles à prévoir, nous a offert avec les serpentines une série de ressemblances du plus haut intérêt, sur lesquelles il est indispensable de nous arrêter un moment.

Nature métamorphique de la serpentine. — C'est jusqu'ici une question restée sans réponse complète que celle de l'origine des serpentines, et même les résultats fournis par leur étude, loin de faciliter la solution du problème, ont amené à des conséquences en apparence contradictoires. En effet, s'il est hors de doute que les serpentines sont de nature éruptive, leur très-forte teneur eau, qui s'élève normalement à plus de 12 pour 100, est incompatible avec l'idée d'une origine ignée. On sait que bien avant de fondre les serpentines perdent toute leur eau et se transforment, par la fusion, en substances essentiellement différentes, composées par le mélange, en proportions variables, de minéraux péridotiques et de minéraux pyroxéniques. De façon que si l'on admet, comme il semble d'ailleurs impossible de s'y refuser, qu'elles ont été poussées de la profondeur à une température élevée, il faut supposer qu'elles ont subi depuis leur sortie des modifications auxquelles est dû leur état actuel.

C'est ainsi qu'on peut dire, en étendant l'acception habituelle de ce mot, qu'elles sont métamorphiques.

Mais jusqu'ici on se trouve dans l'impossibilité de montrer la roche première d'où, selon cette manière de voir, les serpentines dériveraient. Le calcaire

salin dérive du calcaire compacte, le phyllade de l'argile, le quartzite du grès; mais on ne trouve rien parmi les roches, sédimentaires ou non, qui paraisse pouvoir donner naissance par métamorphisme aux roches serpentineuses. Je sais bien qu'on a voulu voir dans celles-ci un produit pur et simple de l'hydratation du péridot; mais outre, à part certains cas d'épigénie, qu'on ne voit pas par quel mécanisme cette hydratation eût pu se faire, il faut reconnaître qu'il existe entre le péridot et la serpentine des différences de composition que l'addition de l'eau à la première de ces roches ne suffirait pas à faire disparaître, et surtout que rien ne permettrait d'expliquer ainsi la structure si nouvelle de la roche transformée.

Ce que les observations de la Géologie descriptive sont impuissantes à nous apprendre paraît devoir nous être révélé par la Géologie comparée.

Analogie de structure des serpentines avec les météorites pierreuses éruptives. — Dans le cours d'études minéralogiques relatives à la serpentine, et non encore terminées, nous avons été frappé des analogies extrêmes de structure que présente cette roche avec les météorites de ce groupe de Chantonnay qui vient d'être cité. Examinées en tranches minces au microscope, ces météorites présentent rigoureuse-

ment le même aspect que la serpentine, c'est-à-dire qu'elles ont la même structure que celle-ci. Des deux parts se montre une cristallisation également confuse, à laquelle participent toutes les molécules de la masse. Des deux côtés aussi se présentent, au milieu d'éléments lithoïdes, des grains métalliques disséminés. Enfin, et ce caractère est d'importance capitale, étudiées plus en grand, la pierre de Chantonnay et la serpentine sont remarquables par le nombre des *surfaces frottées* qu'elles contiennent.

Tout le monde connaît les miroirs de glissement des serpentines : ce sont des surfaces laminées, étirées et comme émaillées. Or, à la couleur près, ces surfaces se retrouvent identiques dans la roche météoritique qui nous occupe.

De cette comparaison entre la structure des deux roches on est évidemment en droit de conclure à une très-grande similitude dans les conditions de formation.

Analogies et différences de composition des serpentines avec les météorites pierreuses éruptives. — Si maintenant, passant de cette étude physique à un examen chimique, on compare la composition des deux roches, on trouve entre elles des analogies bien remarquables. La base, comme on l'a vu, est constituée des deux parts par des silicates magné-

siens, les uns hydratés et les autres anhydres, dans la masse terrestre, complétement anhydres dans la masse météoritique ; et la composition quantitative de ces silicates se trouve extrêmement voisine, abstraction faite de l'eau, bien entendu.

La nature des minéraux métalliques disséminés donne lieu à une comparaison du même genre. La pierre de Chantonnay renferme du fer métallique, de la troïlite, du fer chrômé ; la serpentine, de l'oxydule de fer, de la pyrite, du fer chrômé. La différence, très-faible, comme on voit, se réduit à un état plus oxydé du fer et plus sulfuré de la pyrite.

Évidemment, il suffit d'admettre que la météorite ait été soumise à une influence hydratante convenable pour comprendre qu'elle se soit transformée en roche de nature serpentineuse, et cela sans que sa structure ait eu besoin de subir aucune modification.

Ce dernier point conduit aussi, d'une manière inévitable, à considérer la roche de Chantonnay elle-même comme éruptive; c'est l'opinion que nous avons défendue plus haut.

Relations totales des serpentines avec les météorites pierreuses éruptives. — Pour résumer cette comparaison, et en admettant, ce que nous cherchons à démontrer, que les météorites fournissent des échantillons de nature à faire connaître les roches terrestres

rendues inaccessibles à nos investigations par la profondeur de leur gisement, il paraît résulter de ce qui précède que rien ne justifie l'opinion d'après laquelle les éruptions de serpentines prouveraient l'existence d'un réservoir infrà-granitique de ces roches.

Pour nous, la roche normale, c'est celle qui forme entre autres la météorite d'Aumale ; les filons qu'elle remplit ont pris, par suite du mode spécial de refroidissement, et surtout par suite des actions mécaniques qui s'y sont développées, l'aspect pseudo-fragmentaire caractéristique de la pierre de Chantonnay. Quant aux serpentines, analogues ainsi aux malachites qui couronnent les filons de chalkopyrite par exemple, elles représentent les *têtes* des filons de chantonnite, et ne sont par conséquent qu'un produit de l'altération de ceux-ci sous l'influence des agents superficiels.

Transformation artificielle de la serpentine en une roche météoritique. — Nous émettons cette hypothèse avec d'autant plus de confiance, que l'expérience nous a permis de la contrôler d'une manière très-précise, en nous donnant le moyen de repasser de la roche terrestre, c'est-à-dire de la serpentine, à la roche météoritique. Ce point nous paraît mériter quelques développements.

Jusque là on n'avait réalisé la reproduction ar-

tificielle d'aucune météorite, du moins à l'aide de matériaux terrestres, car on a vu précédemment comment nous avons pu réaliser la synthèse de certaines météorites au moyen d'autres pierres de même origine. Nos recherches sur le métamorphisme météoritique, résumées dans la première partie, en nous faisant envisager le problème sous un jour nouveau, nous conduisirent d'une manière toute naturelle à réaliser l'imitation de l'un des types les mieux caractérisés de roches cosmiques. Voici les considérations qui nous amenèrent à ce résultat.

Nous venons de montrer combien les serpentines se rapprochent des météorites grises par leur structure et par certains traits de leur composition, en même temps qu'elles s'en écartent par la présence de l'eau et d'un excès d'oxygène. Si on veut tenter leur transformation en roche météoritique, le mode opératoire se trouve, par cela même, limité à un très-petit nombre de moyens. En effet, il ne faut avoir recours à aucune manipulation de nature à modifier la structure de la roche traitée. Par conséquent, la fusion, qui se présente naturellement à l'esprit quand on songe à des expériences de ce genre, doit être expressément écartée, car on sait déjà combien les produits de fusion des météorites diffèrent profondé-

ment de celles-ci, pour la structure et même pour la composition minéralogique.

D'un autre côté, la différence de composition entre la serpentine et les roches météoritiques consistant dans la présence de l'eau chez la pierre terrestre et dans l'état plus oxydé de certains de ses éléments, il faut recourir à un procédé à la fois déshydratant et réducteur. Or, on ne peut espérer de réaliser cette double condition à la température ordinaire : le rouge est absolument nécessaire pour que la serpentine perde toute son eau, et au-dessous de ce point thermométrique, le fer oxydulé ne saurait être réduit.

La conclusion pratique de ces diverses remarques est que l'on devra opérer entre le rouge et le point de fusion des matières en expériences.

Mais alors une nouvelle difficulté apparaît : comme nous l'avons vu dans la première partie, les météorites grises subissent dès le rouge une modification profonde : elles deviennent noires et identiques suivant leur structure à la roche qui constitue la pierre de Tadjéra ou à celle qui forme la pierre de Stawropol.

Donc, dans l'état actuel de nos méthodes, il serait chimérique de tenter, au moyen de masses terrestres, la synthèse des météorites grises, et l'on doit prendre

pour but la reproduction des roches cosmiques métamorphiques. Pour résoudre ce problème il faut, comme on voit : en premier lieu, ne pas modifier la structure de la serpentine ; ensuite, lui faire perdre toute son eau ; amener les grains de fer oxydulé qu'elle contient à l'état métallique ; enfin, faire subir à ses minéraux silicatés la modification moléculaire rendue si sensible, chez les météorites métamorphiques, par l'apparition de la coloration noire.

Nous avons réuni toutes ces conditions en soumettant simplement de la serpentine à l'influence simultanée de la chaleur rouge et d'un courant de gaz hydrogène pur. Si l'on opère dans un tube de verre chauffé par une lampe à gaz, on voit au bout de peu de temps la roche perdre son eau et acquérir une nuance noire qui devient de plus en plus foncée, et qui est tout à fait pareille à celle de la météorite de Tadjéra.

La coloration noire apparaît dès que la température rouge est atteinte. L'expérience se fait si aisément qu'on peut employer un tube à gaz de verre blanc ordinaire : avant que ce verre, pourtant si fusible, se ramollisse, la coloration noire est parfaitement sensible.

Toutefois, dans ces conditions, la transformation n'est que superficielle, et pour l'obtenir plus profonde

il faut faire usage d'un tube de porcelaine chauffé par un feu de coke. Alors le produit est au point de vue physique, qui frappe tout d'abord, complétement analogue à la pierre de Tadjéra, et ne paraît en différer que par une dureté et une densité un peu moindres, quoique beaucoup plus grandes que celles de la serpentine. Ainsi, la pierre de Tadjéra ayant une densité de 3.59, une serpentine tendre de la vallée d'Aoste qui pesait 2.43 monta à 3.37 après sa transformation. La différence que nous signalons entre le produit de l'expérience et la pierre algérienne résulte peut-être des pressions auxquelles la météorite a sans doute été soumise, et qu'on ne reproduit pas dans le laboratoire ; d'un autre côté, l'eau et l'oxygène extraits laissent évidemment un vide qui n'existe pas dans la pierre naturelle.

Quoi qu'il en soit, l'examen chimique montre entre le produit de l'expérience et la météorite qu'il fallait reproduire une conformité parfaite. En choisissant convenablement la variété de serpentine sur laquelle on opère, on peut arriver à une identité absolue. Si on fait usage d'une roche pulvérisée, l'expérience marche plus vite, et l'on obtient un résultat tout pareil à celui que donne la pulvérisation pure et simple de la météorite de Tadjéra.

L'expérience de synthèse qui vient d'être décrite

est rendue bien plus rapide si l'on substitue à l'hydrogène le gaz, beaucoup plus réducteur, qui sert à l'éclairage. Seulement il y a cet inconvénient que tous les fragments de roche sont recouverts de noir de fumée, qu'il est très-difficile d'enlever complétement. Mais l'intérieur des fragments échappe à cette souillure, et le gaz carboné permet de réaliser la transformation complète de morceaux relativement volumineux.

Rappelons d'ailleurs que, conformément à ce que nous disions il n'y a qu'un moment, en faisant une pierre pareille à la météorite de Tadjéra, au moyen de la serpentine, on suit évidemment une marche inverse de celle qu'a adoptée la nature; puisque, comme nous l'avons fait voir, la serpentine paraît être un produit dérivé des roches météoritiques. C'est aux conditions seules de l'expérience qu'il faut attribuer cette circonstance, que nous ne pouvons reproduire la roche cosmique qu'après qu'elle a subi l'action du métamorphisme.

§ 3. — Mécanisme de l'éruption des roches plutoniques.

Pour en finir avec les conséquences du métamorphisme météoritique, ajoutons que l'étude des surfaces frottées de la pierre de Chantonnay et du mé-

tamorphisme qui s'y est produit éclaire d'une manière très-vive le mécanisme de l'éruption de nos roches plutoniques. Le fait rendu si sensible dans la roche cosmique, à savoir que l'éruption a eu lieu à l'état solide, est en effet beaucoup plus général qu'il ne paraît chez les roches non volcaniques.

A l'appui de cette assertion nous citerons, entre autres, une observation faite dans la collection lithologique du Muséum, et qui nous porte à croire qu'un grand nombre de roches éruptives de l'apparence la plus compacte sont en réalité brèchiformes. Il s'agit d'une eurite rapportée de Pointe-Légal, en Cochinchine, par M. Germain et enregistrée au catalogue *carré* sous le n° 880, 1. A la cassure, cette roche est absolument compacte, comme la plupart des pétrosilex, mais observée sur la surface naturelle elle se montre, par suite de l'action inégale sur ses diverses parties des agents atmosphériques, formée de fragments anguleux juxtaposés, exactement comme la roche de Chantonnay et la serpentine.

§ 4. — **Présence du fer métallique dans les profondeurs du globe.**

Si la série des roches météoritiques complète, comme nous le pensons, dans l'intérieur du globe

la série des roches que nous montre son écorce; si, en d'autres termes, les masses encore fluides de notre planète doivent se concréter avec les caractères de composition et avec les situations relatives que nous trouvons à leurs analogues dans le globe météoritique, il doit être possible de contrôler la presence ou l'absence du fer métallique dans les régions centrales de la terre.

Densité totale de la terre. — Un premier argument favorable à la présence du métal est tiré de la densité de la terre, si notablement supérieure à celle que permettraient de lui assigner les roches que nous connaissons : cette forte densité (5. 5) serait naturelle pour un globe dont le centre serait de fer massif.

Magnétisme terrestre. — Un deuxième ordre de faits, concordants avec le précédent, est relatif au magnétisme terrestre. Chladni en expliquait les phénomènes par la supposition d'une masse centrale de fer métallique; mais depuis on a généralement renoncé à cette manière de voir pour se ranger à la belle théorie d'Ampère.

Cependant il faut bien remarquer que les raisons dont on s'est prévalu contre le physicien de Wittenberg ne sont point suffisantes. Il semblait que la haute température des régions profondes du globe fût incompatible avec la manifestation des phénomènes ma-

gnétiques. Or, par de très-intéressantes expériences, M. Trève a montré comment on peut aimanter la fonte alors qu'elle est en pleine fusion [1]; nous pensons que relativement au magnétisme terrestre les idées de Chladni et celles d'Ampère devront être simultanément adoptées et combinées entre elles.

Découverte du fer métallique dans les roches profondes. — Enfin, une série d'arguments encore plus probants en faveur de l'existence d'un noyau métallique au centre du globe est fournie par la découverte du fer libre dans certaines roches profondes.

Ainsi, M. Andrews a publié en 1852 [2] une méthode au moyen de laquelle il a reconnu l'existence du fer libre dans les roches volcaniques de la Chaussée-des-Géants et de plusieurs autres localités. Plus tard, par un procédé différent, M. Sterry Hunt a trouvé le fer libre dans certaines roches des États-Unis [3]; et nous-même, grâce à un troisième mode opératoire, nous en avons décelé dans plusieurs basaltes, dans des dolérites et dans d'autres roches volcaniques [4].

M. de Engelhardt assure, de son côté [5], que le

[1] *Comptes rendus, etc.*, t. LXIX.
[2] *Poggendoff's annales*, t. LXXXVIII, p. 321.
[3] *Silliman's american journal of sciences and arts*, 4e série.
[4] *Dosage du fer nickelé dans les météorites. Cosmos* du 13 nov. 1869.
[5] *Reise nach Ural*, vom G. Rose.

platine est parfois accompagné de fer natif provenant évidemment de très-grandes profondeurs, et l'on sait que dans l'Oural le platine possède souvent des propriétés magnétiques qui lui sont communiquées par les 9 ou 10 centièmes de fer auquel il est allié.

§ 5. — Mode de solidification du globe terrestre.

Le dernier fait sur lequel nous appellerons l'attention, c'est la lumière que l'étude des météorites est de nature à jeter sur le mode de solidification du globe terrestre.

Opinions diverses des géologues à cet égard. — Parmi les géologues, aujourd'hui en immense majorité, qui admettent la chaleur d'origine du globe terrestre, il s'est formé deux écoles sur le point de savoir de quelle manière le refroidissement et la solidification, qui en est la suite, se sont opérés.

A l'exemple de Poisson, les uns, s'appuyant sur les travaux récents de MM. Hopkins, Fairbairn, Tyndall, etc., veulent que cette solidification soit partie du centre et ait progressivement gagné la surface ; parmi eux est M. Sterry Hunt, qui s'est signalé par la force de ses arguments [1].

[1] *On the chemistry of the primeval Earth;* conférence faite à l'Institution royale le 31 mars 1867.

Les autres, et de beaucoup les plus nombreux, admettent l'hypothèse inverse, suivant laquelle le globe comporte une mince croûte solide, reposant sur un noyau interne liquide ou pâteux. C'est l'opinion que nous avons admise plus haut.

Des deux parts, les raisonnements sont nombreux et les avocats éloquents; mais il faut reconnaître qu'on ne trouve pas plus d'un côté que de l'autre d'argument véritablement décisif, et qu'opter entre les deux écoles reste à peu près une affaire de sentiment. Or, tandis que l'étude de la terre ne paraît pas, quels que soient nos efforts, de nature à nous fournir de faits positifs quant à l'important sujet qui nous occupe, l'examen des météorites semble devoir au contraire répandre la plus vive clarté sur cette question fondamentale.

Mode de solidification du globe météoritique. — En effet, les météorites nous ont donné plus haut le moyen de découvrir la nature des actious qui se sont développées dans l'intérieur d'un astre analogue à la terre, et nous sommes autorisés à étendre à celle-ci les faits que le globe sidéral nous révèle. Or, dans ce globe la solidification s'est-elle opérée à partir du centre ou à partir de la surface?

Ici, plus de place aux hypothèses; la question est réduite à une observation pure et simple, car il suf-

fit de voir si les météorites les plus denses, c'est-à-dire les fers, se sont solidifiées avant ou après les météorites les moins denses, c'est-à-dire les pierres.

Eh bien, l'étude des météorites nous a montré que les fers éruptifs, tels que ceux de Deesa et d'Hemalga, empâtent fréquemment des fragments pierreux ; tandis que les pierres éruptives, comme celles de Chantonnay et de Pultusk, n'empâtent jamais de fragments métalliques. C'est-à-dire que le fer était encore liquide ou pâteux quand la pierre était déjà complétement solidifiée.

Donc, dans le globe, dont les météorites sont les débris, la solidification s'est manifestement étendue de la surface vers le centre, et l'on peut dire que les roches météoritiques métalliques sont géologiquement plus récentes que les masses lithoïdes qui leur étaient superposées et qu'elles ont parfois métamorphisées.

Conséquence pour le globe terrestre. — Appliquant au globe terrestre cette conclusion, qui paraît inattaquable, nous sommes donc autorisés par les faits, à dire qu'ici également la solidification a procédé de la surface vers le centre, et c'est le premier argument non hypothétique qui ait été opposé jusqu'ici à la manière de voir de Poisson.

RÉSUMÉ DE CE CHAPITRE.

Les exemples qui viennent d'être cités suffiront, pensons-nous, pour montrer comment la géologie profonde du globe se trouve éclairée d'un jour aussi vif qu'inattendu par l'étude des pierres qui nous arrivent des profondeurs du ciel. Déjà, nous avons une idée de la structure interne de notre planète; de la nature des actions qui se manifestent à sa surface par les volcans et les éruptions de roches; enfin, de la manière dont le globe s'est formé et dont il se refroidit encore aujourd'hui.

Car, tous les faits relatés précédemment concourent à nous montrer dans ce globe le résultat d'une immense scorification, ou, comme l'a si heureusement dit M. Élie de Beaumont, d'une *coupellation naturelle* [1].

On peut supposer qu'à l'origine, en vertu d'un phénomène du genre de celui que M. Henri Sainte-Claire Deville a étudié sous le nom de *dissociation* et dont la cause tenait sans doute à l'énorme chaleur d'alors, tous les corps simples se trouvaient en con-

[1] *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV, p. 1326, 1847.

tact, à l'état de mélange, sans pouvoir contracter de combinaisons mutuelles : la force d'affinité chimique, incompatible avec cette température excessive n'existait point encore.

Le refroissement suivant son cours, les diverses combinaisons connues se produisirent, et la scorification ayant lieu, il se forma à la partie externe de la masse une croûte silicatée. L'hydrogène brûlé donna naissance à l'eau des mers. Cette eau, venant baigner les roches primitives dut, concurremment avec la haute température et la pression énorme qui s'exerçaient alors, faire subir à ces roches des actions analogues à celle qu'on produit dans l'eau suréchauffée; et c'est ainsi peut-être qu'ont pris naissance les laves, puis les roches feldspathiques telles que le gneiss et le granite. Les terrains stratifiés ont pu alors se déposer par des procédés tout différents.

CONCLUSION.

J'ai maintenant rempli le cadre que je m'étais tracé, celui dans lequel l'état de nos connaissances veut que nous nous renfermions.

Assez étendu pour constituer un nouveau département de la science, il est étroit pour notre curiosité. Mais la géologie comparée n'est sans doute encore qu'au début de la carrière qu'elle est appelée à parcourir.

Soumise dans ses développements à la même loi que la géologie proprement dite, si elle s'arrête pour le moment en deçà des limites atteintes par celle-ci, c'est la conséquence naturelle de sa nouveauté. Cet arrêt n'est qu'une station. La voici parvenue en un lieu d'étape, et non pas au terme de son histoire.

Jusqu'ici le niveau auquel elle s'est élevée ne dépasse pas les données inorganiques. La partie biologique de la géologie terrestre, c'est-à-dire la paléontologie, reste pour nous unique en son genre et

dépourvue encore de terme de comparaison. Mais comme, en réalité, rien n'est unique dans la nature, sinon la nature elle-même, la seule question possible est de savoir si des termes de comparaison, qui existent certainement quoique nous les ignorions, viendront ou ne viendront pas à notre connaissance.

L'examen de cette question serait parfaitement oiseux. Mais, supposant qu'une solution affirmative lui soit réservée, il est permis de se rendre compte de la portée qu'aurait cette réponse.

En géologie comparée, comme en toute étude comparative, les termes confrontés ensemble s'éclairent d'une lumière réciproque. Pour un moment, considérons seulement celle que projettent sur les problèmes de la géologie du globe les notions acquises de géologie extra-terrestre. Nous voyons que leur caractère constant et commun est de résoudre ou au moins d'élucider des questions de géologie terrestre dont la solution dépasse absolument la portée des données fournies par l'histoire de la terre ; si bien qu'en possession de ces seules données, on a pu les poser et les agiter sans leur faire faire un pas.

A moins donc, que, dans le passage de l'inorganique à l'organisé, la géologie comparée perde un de ses caractères essentiels, ce que rien ne fait prévoir, il suit de là que si ce passage doit avoir lieu,

si cette nouvelle Géologie doit s'étendre sur le terrain de la paléontologie, cette extension aura un double résultat : outre que nous lui devrons des notions positives sur les formes que la vie revêt hors de notre planète, elle nous permettra d'aborder avec succès des problèmes biologiques particuliers aux êtres qui vivent sur la terre et que l'étude de ceux-ci ne nous donne aucun moyen de résoudre.

Dans son savant *Rapport sur les progrès des sciences zoologiques en France*, M. Milne Edwards, amené par son sujet en présence du problème des origines de la vie sur le globe, en vient à faire la supposition suivante : « Serait-ce, écrit-il [1], en passant dans quelque couche particulière de la matière impondérable dont les espaces célestes paraissent être chargés, que notre planète aurait rencontré l'agent susceptible d'imprimer ce mouvement particulier aux substances organisables, ou faut-il attribuer ce phénomène à une action créatrice d'un autre ordre? »

Avant M. Milne Edwards, un autre membre de l'Académie des sciences, M. Ch. Naudin, donnant son opinion sur le débat qui passionnait alors les naturalistes, avait opposé à l'hypothèse d'une organisation spontanée de la matière celle d'une origine

[1] *Loc. cit.*, p. 40, 1867.

cosmique des espèces primordiales soit végétales, soit animales.

Il importe de dire que ces conjectures ont été formulées, bien moins dans l'espoir de faire faire par leur moyen aucun pas véritable à la question qu'elles concernent, que dans le but de montrer par la réduction à une hypothèse invérifiable que cette question dépassait les pouvoirs de la science et ne pouvait être utilement agitée. C'est ce que dit formellement M. Milne Edwards. Aussi la seule chose que par ces citations on veuille mettre en évidence, c'est l'accord de deux esprits éminents à cantonner dans un domaine qui est aujourd'hui celui de la Géologie comparée les éléments de solution d'un problème terrestre que la terre ne donne aucun moyen de traiter[1].

Mais les y reléguer n'est plus nécessairement les mettre hors de notre portée. Dussions-nous en effet les posséder un jour, ce ne serait qu'un pas inespéré ajouté à tant d'autres pas imprévus, à celui par exemple qui a été fait, contre toute vraisem-

[1] Au moment où nous corrigeons les épreuves de ces pages, nous voyons par les journaux d'outre-manche qu'un savant célèbre de l'Angleterre, M. William Thomson, dans son discours présidentiel lu à Édimbourg devant l'Association britannique au mois de juillet dernier, se prononce également en faveur de la possibilité d'une origine extra-terrestre de la vie. (V. par exemple le journal *Nature* du 3 août 1871, p. 269-270.)

blance, lorsque, sans qu'aucun phénomène nouveau ait été observé, et sans que les pouvoirs de l'homme se soient accrus en aucune façon, la science s'est vue, grâce aux météorites qu'elle avait toujours eues sous la main, en mesure d'étudier la substance du ciel de la même manière et par les mêmes procédés qu'elle étudie l'écorce terrestre.

Si la paléontologie n'est pas fermée à la Géologie comparée, il se peut que celle-ci n'y trouve pas encore le terme de ses agrandissements. Ce n'est que récemment en effet que la géologie terrestre a donné la main à l'anthropologie. La terre, qui ne se suffit à elle-même d'aucune façon, ni sous le rapport dynamique ni sous le rapport matériel, ni au mode inorganique ni au mode organique, la terre se suffit-elle dans une sphère plus élevée encore que celles-là; et ne reçoit-elle, à cette hauteur, aucun tribut, nulle assistance? Le sentiment universel du genre humain affirme énergiquement le contraire. Il se peut donc que par la suite la géologie comparée, s'exhaussant jusqu'au rang conquis par la géologie descriptive, jette, sur des problèmes anthropologiques plus élevés que les problèmes du même genre abordés avec tant de puissance et d'éclat par cette dernière, des lumières plus éclatantes encore et plus inespérées.

Mais si ceux qui veulent, devançant les faits, pra-

tiquer des trouées sur l'horizon de la science, n'ont pas toujours le sort malheureux de quiconque prétend au contraire lui imposer des limites, cependant le succès ne récompense pas assez fréquemment leur hardiesse pour nous engager à suivre leur exemple. Notre excuse pour être venu jusqu'ici est que d'une part l'analogie, une analogie étroite, nous y a conduit presque invinciblement, et que d'autre part il est vraiment impossible d'admettre que dans une science aussi jeune que celle qui nous occupe le progrès réalisé d'hier soit tout près d'être le dernier progrès réalisable. Or, la géologie comparée ne pourra s'avancer bien au delà du point déjà atteint par elle sans pénétrer dans les régions que nous venons d'entrevoir.

Arrêtons-nous donc, mais non pas avant d'avoir renoué la fin de ce livre à son commencement, afin de dissiper l'équivoque à laquelle pourrait prêter la pensée par laquelle il s'ouvre.

Il est dit au début des *Considérations préliminaires*, que le ciel s'est trouvé accessible par des moyens tout autres que ceux sur lesquels les hommes avaient compté, et que les modernes y ont trouvé autre chose que ce que nos ancêtres y avaient cherché.

Nous n'avons rien à retrancher de ces affirmations;

mais si on croyait pouvoir en inférer qu'à notre avis le sentiment religieux nous trompe et que son objet est illusoire, on se méprendrait absolument sur notre pensée.

Le ciel religieux et le ciel astronomique ne se limitent point l'un l'autre. L'empyrée peut multiplier indéfiniment ses populations d'univers et indéfiniment reculer ses limites sans que la solitude se fasse dans le monde moral et sans que ses frontières en soient aucunement retrécies. Les progrès de l'optique n'ébranlent point l'autorité de la conscience. Par ce que, grâce au don gratuit de l'étincelle de raison qui brille en lui, l'homme commence à se rendre compte du monde physique où il n'apparaissait d'abord que comme un point dans la vaste mer, et parce que cet atome commence déjà à se faire obéir de cet océan; la croyance universelle du genre humain dans la divinité de l'Esprit et dans la soumission du visible à l'invisible n'est pas infirmée : tout au contraire. Enfin, parce que le phénomène, ce qui passe, ce qui, astre ou monade, n'occupe qu'un point du temps et de l'espace, aura été plus ou moins imparfaitement inventorié et plus ou moins complétement analysé, le fini, le contingent et le relatif ne cesseront pas de supposer et d'attester l'Être indépen-

tanée de l'esprit à des vérités évidentes par elles-mêmes, et tout cet appareil de démonstrations dont elle est fière à si bon droit a sa justification dans ce qui ne se démontre pas, dans les axiomes. Ajoutons que la part de l'intuition dans les découvertes, plus grande qu'on ne croit et moindre qu'elle ne pourrait être, établit un rapport de plus, quant aux moyens, rapport profond, entre la religion et la science. Enfin, celle-ci ne va jamais loin dans aucune direction, sans aboutir à celle-là, qui en effet l'enveloppe de toutes parts, comme nous entoure l'océan, que nous finissons toujours par rencontrer de quelque côté que nous dirigions nos pas. Il est donc évident que les grandes preuves de compétence données par les facultés de l'esprit qui trouvent à s'exercer dans les sciences ne diminuent en rien l'autorité de ce qu'on nomme le sentiment religieux, de ce que j'appellerai l'instinct religieux de l'humanité. C'est par lui en effet que l'homme a été mis de plein saut en possession de vérités supérieures dont la privation eût entraîné la mort de l'âme, aussi sûrement que la mort totale résulterait de l'absence de ce minimum de science infuse qui constitue l'instinct proprement dit.

Concluons :

1° Les sciences physiques ont autorité pour contrôler, rectifier, remplacer les formes dont l'imagination populaire et l'esprit systématique ont enveloppé les vérités religieuses fondamentales ; mais comme leurs progrès se résument dans une extension donnée aux causes secondes, ces progrès ne sauraient dans aucun cas altérer l'essence de ces vérités fondamentales.

2° Un jour arrivera que l'instinct religieux, qui est un fait, deviendra l'objet des recherches d'une science plus avancée que la nôtre et mûre enfin pour l'étude de ce qui dans l'homme est l'homme même. Quel accroissement de pouvoir l'homme retirera-t-il de cette investigation ? On ne saurait s'en faire qu'une idée très-vague, mais on s'en fait une idée très-haute quand on sait quels trésors sans prix la science tire des moindres sujets de recherches et quand on fait attention que celui-ci est le plus sublime de ceux qu'elle puisse aborder.

FIN.

TABLE DES NOMS CITÉS.

